



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**MANIPULÁTOR PRO SKLÁDÁNÍ SLÉVÁRENSKÝCH  
FOREM**

MANIPULATOR FOR FOLDING MOLDS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Lukáš Borýsek**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Jan Pavlík, Ph.D.**

**BRNO 2019**



# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Bc. Lukáš Borýsek**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty  
Vedoucí práce: **Ing. Jan Pavlík, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Manipulátor pro skládání slévárenských forem

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhnete a konstrukčně zpracujete řešení manipulátoru pro skládání dvoudílných slévárenských forem. Maximální rozměry rámu formy 1000x800x300 mm a hmotnost cca 400 kg. Stanovení zbývajících charakteristik budou součástí návrhu.

### Cíle diplomové práce:

Důkladná analýza problematiky.

Systémový rozbor řešené problematiky, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu.

Návrh variant řešení a zdůvodnění výběru konkrétního řešení.

Konstrukční návrh zvolené varianty – 3D model.

Výpočtová zpráva.

Výkresová dokumentace vybraných uzlů.

Závěr a doporučení pro praxi.

### Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, J.E., Ch.R. MISCHKE a R.G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. 1. Brno: Naladatelství VUTUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.

CHRÁST, Jaroslav. Slévárenská zařízení. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-7204-456-7.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá problematikou návrhu konstrukce manipulátoru pro skládání dvoudílných slévárenských forem. V práci je provedena analýza současného stavu poznání v odvětví manipulačních zařízení a průmyslových robotů z obecného pohledu. Následně práce seznamuje se současnou problematikou manipulačních zařízení, která jsou využívána ve slévárenství. Dále se práce zabývá rozбором problematiky konstrukce manipulátoru, volbou vhodné varianty řešení konstrukce vlastního manipulačního zařízení. Konstrukční řešení je podloženo výpočtovou zprávou, 3D modelem a výkresovou dokumentací vybraných uzlů. Závěr práce je věnován zhodnocení práce a praktickým doporučením.

## **ABSTRACT**

The diploma thesis deals with the design of manipulator construction for folding two-part molds. In the thesis, an analysis of the current state of knowledge in the field of handling equipment and industrial robots is generally performed. Subsequently, the work introduces the current issue of handling equipment that is used in foundry. Furthermore, the work deals with the analysis of the manipulator construction, choosing the appropriate solution for the construction of its own handling equipment. Design solution is supported by computational message, 3D model and drawing documentation of selected nodes. The conclusion is devoted to the evaluation of work and practical recommendations.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

manipulátor, konstrukce manipulátoru, manipulace s formami, formovací rámy, slévárenství, odlévání, 3D model, výkresová dokumentace

## **KEYWORDS**

manipulator, manipulator construction, mold manipulation, molding frames, foundry, casting, 3D model, drawing documentation



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BORÝSEK, L. *Manipulátor pro skládání slévárenských forem*. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2019, 134 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Pavlík Ph. D.





## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. Janu Pavlíkovi, Ph. D. za odborné vedení, cenné rady, náměty, připomínky a ochotu, což mi pomohlo při tvorbě diplomové práce. Zároveň bych chtěl poděkovat své rodině za trpělivost a podporu, kterou mi po celou dobu mého studia na VUT FSI v Brně poskytovala.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Pavlíka Ph. D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2019

.....  
Bc. Borýsek Lukáš



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>MOTIVACE.....</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....</b>	<b>21</b>
3.1	Mechanizace a automatizace výrobního procesu.....	21
3.1.1	Důvody mechanizace a automatizace.....	21
3.1.2	Úkony pro možné využití mechanizace a automatizace.....	22
3.1.3	Prostředky pro mechanizaci a automatizaci .....	23
3.2	Manipulační zařízení a průmyslové roboty .....	23
3.2.1	Definice průmyslových robotů a manipulátorů .....	24
3.2.2	Manipulační zařízení .....	25
3.2.3	Průmyslové roboty.....	26
3.2.4	Rozdělení manipulačních zařízení a průmyslových robotů.....	27
3.2.5	Činnosti vykonávané pomocí manipulačních zařízení a průmyslových robotů .....	30
3.3	Slévárenství.....	32
3.3.1	Slévárenská technologie .....	32
3.3.2	Slévárenská lící forma .....	33
3.3.3	Slévárenské formovací rámy .....	34
3.3.4	Formování do dvou ráků .....	35
3.4	Manipulační zařízení pro manipulaci se slévárenskými formami (rámy) .....	35
3.4.1	Důvody užití manipulačních zařízení pro manipulaci se slévárenskými formami .....	36
3.4.2	Funkce manipulačního zařízení pro skládání slévárenských forem .....	37
3.4.3	Hlavní části manipulačního zařízení pro skládání slévárenských forem.....	37
3.4.4	Rozdělení manipulačních zařízení pro skládání dvoudílných slévárenských forem .....	38
3.4.5	Přehled výrobců manipulačních zařízení pro manipulaci se slévárenskými formami .....	48
<b>4</b>	<b>SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>55</b>
4.1	Problémová situace .....	55
4.2	Formulace problému .....	55
4.3	Formulace cílů řešení.....	55
4.4	Popis řešené soustavy .....	55
4.5	Systém podstatných veličin .....	56
4.5.1	S0 - Veličiny popisující okolí entity.....	56
4.5.2	S1 - Geometrie a topologie entity.....	56
4.5.3	S2 - Vazby a interakce entity s okolím.....	56
4.5.4	S3 - Aktivace entity s okolím .....	56
4.5.5	S4 - Ovlivňování entity s okolím.....	56
4.5.6	S5 - Oborové vlastnosti struktury entity .....	56
4.5.7	S6 - Veličiny popisující procesy a stavy entity .....	57
4.5.8	S7 - Veličiny popisující projevy entity.....	57
4.5.9	S8 - Důsledky projevů .....	57
4.6	Typ zadaného problému.....	57
4.7	Diskuze k zadanému problému .....	57
4.7.1	Návrh způsobu řešení zadaného problému .....	57

4.7.2	Zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného problému.....	58
<b>5</b>	<b>NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A ZDŮVODNĚNÍ VÝBĚRU KONKRÉTNÍHO ŘEŠENÍ.....</b>	<b>59</b>
5.1	Posuzované vlastnosti.....	59
5.1.1	Technická jednoduchost konstrukce .....	59
5.1.2	Bezpečnost při výpadku elektrické energie.....	59
5.1.3	Přestavitelnost konstrukce.....	59
5.1.4	Náklady na výrobu / pořízení .....	60
5.1.5	Plynulost pohybu při přestavení ramen / otáčení čelistí.....	60
5.1.6	Nastavení požadované polohy.....	60
5.1.7	Hmotnost konstrukce.....	60
5.2	Váhy posuzovaných vlastností .....	60
5.2.1	Saatyho metoda .....	60
5.2.2	Stanovení vah posuzovaných vlastností .....	62
5.3	Postup výběru konkrétního konstrukčního řešení .....	62
5.4	Konkrétní konstrukční řešení .....	63
5.4.1	Bodovací metoda.....	63
5.4.2	Stanovení konkrétního konstrukčního řešení .....	64
5.4.3	Diskuze ke stanovení konkrétního konstrukčního řešení .....	66
<b>6</b>	<b>KONSTRUKČNÍ NÁVRH VLASTNÍHO MANIPULÁTORU PRO SKLÁDÁNÍ SLÉVÁRENSKÝCH FOREM.....</b>	<b>67</b>
6.1	Vstupní parametry .....	67
6.2	Návrh pohonu pro otáčení formovacího rámu.....	68
6.2.1	Celkový moment setrvačnosti .....	68
6.2.2	Čas potřebný pro rozběh hydromotoru na požadované otáčky .....	69
6.2.3	Rychlost otáčení formovacího rámu .....	69
6.2.4	Úhlová rychlost při otáčení formovacího rámu.....	69
6.2.5	Úhlové zrychlení při otáčení formovacího rámu.....	69
6.2.6	Krouticí moment hydromotoru.....	69
6.2.7	Volba typu kyvného hydromotoru .....	70
6.2.8	Potřebný průtok pro hydrogenerátor .....	70
6.3	Kontrola pohonu pro šířkovou přestavitelnost rámu manipulačního zařízení....	70
6.3.1	Síla od přímočarého hydromotoru.....	71
6.3.2	Kontrola pístnice na vzpěr.....	71
6.3.3	Plocha pístu .....	71
6.3.4	Plocha pístnice.....	71
6.3.5	Potřebný pracovní tlak pro zasunutí pístnice .....	71
6.3.6	Potřebný pracovní tlak pro vysunutí pístnice .....	71
6.3.7	Objem kapaliny pro úplné zasunutí pístnice .....	72
6.3.8	Objem kapaliny pro úplné vysunutí pístnice.....	72
6.3.9	Potřebný průtok pro hydrogenerátor .....	72
6.3.10	Rychlost vysunování či zasunování pístnice .....	73
6.4	Kontrola pohonu pro pohyb pojezdové kočky .....	73
6.4.1	Síla přímočarého hydromotoru.....	74
6.4.2	Kontrola pístnice na vzpěr.....	75
6.4.3	Plocha pístu .....	75
6.4.4	Plocha pístnice.....	75
6.4.5	Potřebný pracovní tlak pro zasunutí pístnice .....	75
6.4.6	Potřebný pracovní tlak pro vysunutí pístnice .....	75

6.4.7	Objem kapaliny pro úplné zasunutí pístnice.....	75
6.4.8	Objem kapaliny pro úplné vysunutí pístnice .....	76
6.4.9	Potřebný průtok pro hydrogenerátor.....	76
6.5	Volba hydraulického agregátu .....	76
6.5.1	Porovnání pracovních tlaků a průtoků.....	76
6.5.2	Výběr konkrétního hydraulického agregátu .....	77
6.6	Schéma hydraulického obvodu .....	77
6.7	Návrh a kontrola hřídele .....	79
6.7.1	Volba průměrů hřídele .....	79
6.7.2	Uložení hřídele a volba ložisek .....	79
6.7.3	Zatížení hřídele .....	81
6.7.4	Výpočet reakčních sil v ložiskách .....	81
6.7.5	Kontrola výstupního konce hřídele na střídavý krut .....	83
6.7.6	Ohybové momenty v kritických místech .....	84
6.7.7	Výpočet ohybových momentů v kritických místech .....	85
6.7.8	Kontrola hřídele v místě 1 .....	86
6.7.9	Kontrola hřídele v dalších kritických místech - 2, 3.....	88
6.8	Kontrola trvanlivosti ložisek.....	89
6.8.1	Dynamické ekvivalentní zatížení ložiska A .....	89
6.8.2	Dynamické ekvivalentní zatížení ložiska B.....	90
6.8.3	Základní trvanlivost ložiska A.....	90
6.8.4	Základní trvanlivost ložiska B.....	90
6.9	Návrh délky drážky pro pero .....	91
6.9.1	Obvodová síla působící na těsné pero .....	91
6.9.2	Dovolený tlak na boky drážek náboje kyvného hydromotoru.....	91
6.9.3	Minimální délka pera: .....	91
6.10	Návrh a kontrola lineárního vedení .....	91
6.10.1	Uspořádání a uložení komponent lineárního vedení .....	91
6.10.2	Rozložení zatížení, které má vliv na jednotlivé vozíky lineárního vedení .....	92
6.10.3	Výpočet zatížení jednotlivých vozíků lineárního vedení .....	95
6.10.4	Výpočet zatížení jednotlivých vozíků lineárního vedení pro další případy zatížení.....	96
6.10.5	Životnost vozíku lineárního vedení .....	98
6.11	Kontrola výsuvného ramena .....	98
6.11.1	Okrajové podmínky .....	98
6.11.2	Průběh napětí .....	100
6.11.3	Průběh deformací.....	101
6.11.4	Porovnání a vyhodnocení výsledků.....	101
<b>7</b>	<b>BEZPEČNOST PŘI POUŽÍVÁNÍ ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>103</b>
7.1	Analýza rizik.....	103
7.2	Bezpečnost manipulačního zařízení pro skládání slévárenských forem.....	104
7.2.1	Provedení konstrukce rámu .....	104
7.2.2	Krytování pohyblivých částí.....	104
7.2.3	Vhodné ovládací prvky.....	105
7.2.4	Volba rychlosti šířkové stavitelnosti rámu .....	105
7.2.5	Volba vhodných komponent a prvků umístěných na konstrukci .....	106
7.2.6	Bezpečnostní značení .....	106
7.2.7	Proškolená obsluha .....	106

<b>8</b>	<b>3D MODEL MANIULÁTORU PRO SKLÁDÁNÍ SLÉVÁRENSKÝCH FOREM.....</b>	<b>107</b>
<b>9</b>	<b>DOPORUČENÍ PRO PRAXI .....</b>	<b>109</b>
9.1	Návrh zařízení .....	109
9.2	Výroba zařízení .....	109
9.3	Montáž zařízení .....	109
9.4	Používání zařízení .....	110
9.5	Likvidace zařízení .....	110
<b>10</b>	<b>ZHODNOCENÍ A DISKUZE .....</b>	<b>111</b>
<b>11</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>113</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>115</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>121</b>
13.1	Seznam použitých symbolů .....	121
13.2	Seznam tabulek.....	127
13.3	Seznam obrázků.....	128
<b>14</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>133</b>



# 1 ÚVOD

Již od počátků lidské existence byli lidé nuceni různě přemísťovat, natáčet a jinak polohovat předměty rozličných tvarů, velikostí a hmotností. Tyto úkony, které lidstvo s předměty provádí, můžeme nazvat slovy manipulace s předměty. V pracovním procesu je manipulace s předměty často se opakující aktivitou a to téměř ve všech odvětvích lidské činnosti.

Dnešní doba je charakteristická svou rychlostí v různých odvětvích strojírenského průmyslu. Je velká snaha dosáhnout vysoké efektivity, což je mnohdy přímo spojené s konkurenceschopností na trhu. Jsou kladeny požadavky na vysokou produktivitu, spolehlivost a přesnost jednotlivých výrobků. A protože je manipulace neoddělitelnou součástí každé lidské činnosti, vedou mnohdy tyto požadavky na myšlenku usnadnění a zefektivnění manipulace v pracovním procesu. S postupem času proto dochází k mechanizaci a automatizaci různých výrobních procesů, kde se využívají rozličná zařízení, jako dopravníky, manipulační zařízení, pomocná zařízení pro orientaci předmětů, zásobování předmětů atd.

Manipulační zařízení mají za úkol zrychlit výrobní procesy, zvýšit jejich kvalitu při současném snížení lidské námahy a zachování bezpečnosti práce. Velké množství nabízených typů manipulátorů umožňuje jejich nasazení téměř v jakékoliv oblasti strojírenského průmyslu. Využívají se například k manipulaci s materiálem, upínání obrobků, polohování předmětů, skládání součástí. Manipulační zařízení či průmyslové roboty často v praxi vykonávají různé technologické úkony jako je například svařování, nanášení barev, broušení obrobků. S výše zmíněnou problematikou souvisí i téma této diplomové práce.

Cílem diplomové práce je návrh a konstrukční zpracování manipulátoru pro skládání dvoudílných slévárenských forem.

V první části práce je věnována pozornost současnému stavu poznání v oblasti mechanizace a automatizace výrobního procesu, manipulačních zařízení a průmyslových robotů. Poté je přiblížena slévárenská činnost a probíhá seznámení se s manipulačními zařízeními, která se využívají ve slévárenských procesech. Po zhodnocení současného stavu poznání je v práci přistoupeno k systémovému rozboru problematiky a návrhu vlastního manipulačního zařízení pro skládání slévárenských forem. Následně je zvolena konkrétní varianta vlastního manipulátoru. Poté je vypracován konstrukční návrh manipulačního zařízení a vytvořen 3D model manipulačního zařízení. Konstrukční návrh je podložen výpočtovou zprávou. Součástí konstrukčního řešení je také vypracovaná výkresová dokumentace vybraných uzlů manipulátoru. V závěrečné části diplomové práce je zhodnocení řešeného problému a doporučení pro praxi.



## 2 MOTIVACE

Mojí motivací pro vypracování této diplomové práce a splnění jejích cílů, je zapojit se do procesu konstruktéra, který řeší problémy, jež se vyskytují v praxi.

Již od základní školy mě bavilo vymýšlet si různá jednoduchá zařízení, která mně osobně nebo lidem v okolí nějakým způsobem zjednoduší nebo urychlí práci. Problematika konstrukce manipulátoru pro skládání slévárenských forem se mi proto jeví jako zajímavá.

Podle mého názoru by si člověk v dnešní uspěchané době měl určité pracovní procesy co nejvíce mechanizovat a automatizovat, tak aby mohl svoji energii věnovat více volnočasovým aktivitám nebo rodině a blízkým. V případě, že je přímá účast člověka v pracovním procesu při nějaké činnosti nutná, měl by si člověk tuto činnost alespoň co nejvíce zjednodušit, aby pro něj nebyla nadměrně fyzicky náročná.

Dnešní doba také umožňuje použití různých druhů mechanismů, pohonů, elektronických součástek, atd. Lidé, kteří žili určitá léta před námi, nemohli tyto věci využívat, protože je neznali. Ale přesto se obětovali proto, aby vždy vymysleli něco na jejich dobu nového a další generace z jejich objevů a nápadů mohli čerpat. Myslím si, že by se mělo i v dnešní době pokračovat v tomto trendu a využívat moderních technických prvků k tomu, abychom si jako lidstvo zajišťovali lepší přítomnost a budoucnost.

Tuto diplomovou práci jsem si vybral z výše uvedených důvodů a věřím, že při snaze vyvíjet zařízení pro usnadnění různých lidských činností dojde ke zvýšení humanizace, spolehlivosti, a bezpečnosti práce v mnoha pracovních procesech. Zároveň věřím, že další pokroky v oblasti techniky povedou ke zlepšení podmínek pro životní prostředí.



### 3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

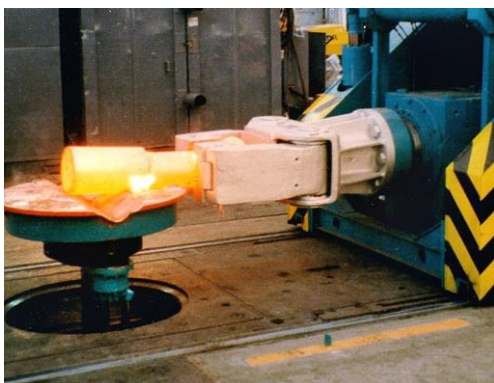
V této kapitole je zpracován přehled současného stavu poznání v oblasti mechanizace a automatizace výrobního procesu, následně je pak nahlíženo na manipulační zařízení a průmyslové roboty z obecného hlediska. V další části kapitoly je stručně shrnuta problematika typu slévárenství, kde nedílnou součástí je využití slévárenských forem. Závěrem této kapitoly je pak provedena analýza současného stavu poznání v oblasti manipulačních zařízení, které se využívají k účelu skládání dvoudílných slévárenských forem.

#### 3.1 Mechanizace a automatizace výrobního procesu

Téma využití různých prostředků mechanizace a automatizace ve výrobním procesu je v dnešní době dosti aktuální a často probírané. Mnoho společností se z různých důvodů uchyluje k mechanizaci potažmo automatizaci ve svých výrobních závodech.

##### 3.1.1 Důvody mechanizace a automatizace

Vzhledem k různým limitujícím faktorům jako je například nedostatečné množství kvalifikované pracovní síly, omezená velikost lidské síly (*Obr. 1 a*), zohlednit musíme také výskyt možných nebezpečných (*Obr. 1 b*), či nedostupných prostředí (*Obr. 2 b*), ve kterých by bylo pro člověka nebezpečné nebo nemožné vykonávat práci, přistupujeme k mechanizaci a automatizaci výrobního procesu.



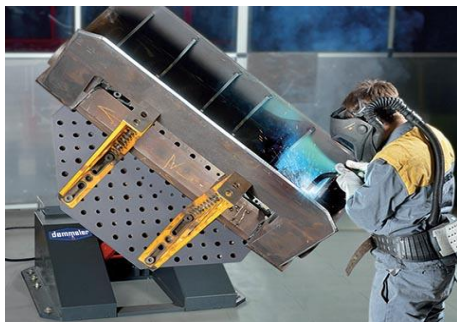
a)



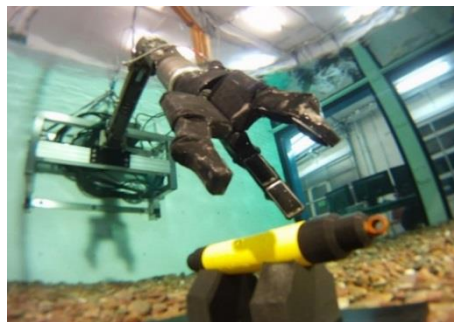
b)

Obr. 1) a) Manipulátor pro těžká břemena [25], b) Manipulátory v nebezpečném prostředí [26]

Navíc v některých pracovních procesech se vyskytují monotónní a opakující se procesy (*Obr. 2 a*), které lze snadno automatizovat a snížit námahu lidem, kteří v těchto procesech pracují. K dalším důvodům pro mechanizaci a automatizaci můžeme řadit stále se zvyšující požadavky na strojírenskou výrobu (součásti často ve velkých výrobních dávkách, dle požadavků zákazníka, mnohdy vysoké přesnosti, jakosti a také vysoké časové náročnosti).



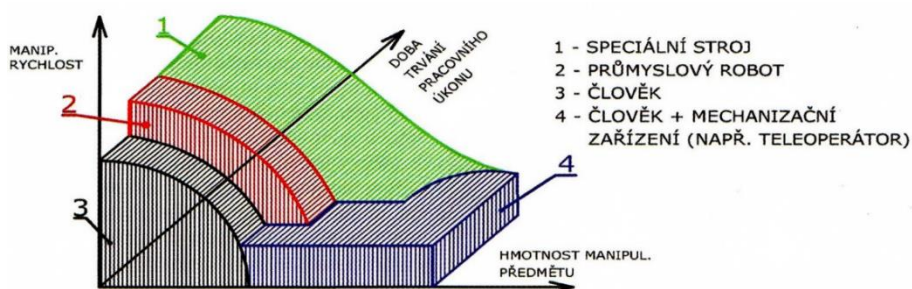
a)



b)

Obr. 2) a) Manipulátor pro otáčení svařenců [27], b) Manipulátor do nedostupného prostředí [28]

Srovnání práce člověka nebo různých zařízení ukazuje diagram (*Obr. 3*), ve kterém je zohledněna závislost mezi hmotností předmětu, manipulační rychlostí a celkovou dobou trvání práce vykonávané speciálním strojem, průmyslovým robotem, samostatným člověkem nebo člověkem za pomoci nějakého mechanizačního zařízení.



Obr. 3) Diagram vymezující použitelnost různých typů manipulačních zařízení [1]

### 3.1.2 Úkony pro možné využití mechanizace a automatizace

Neúměrná fyzická námaha pracovníků nebo časová prodleva v mnoha případech vzniká při vykonávání tzv. vedlejších úkonů pracovního procesu, nicméně tyto úkony jsou nedílnou součástí určitého pracovního postupu. Mezi tyto úkony řadíme například upínání obrobků, třídění předmětů (*Obr. 4*), různé vkládání a vyjímání jednotlivých komponent z přípravků, skládání různých dílců, ale také dopravu vyráběných součástí.



a)



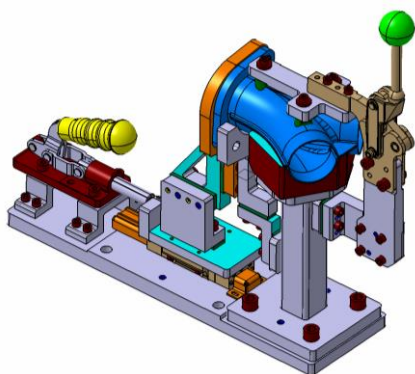
b)

Obr. 4) a) Třídění odpadu manuálně [29], b) Třídění odpadu za pomoci manipulátoru [30]

### 3.1.3 Prostředky pro mechanizaci a automatizaci

Z výše uvedených důvodů zařazujeme do výrobního procesu různé prostředky, které nám slouží jednak ke zvýšení humanizace a produktivity prováděných úkonů, ale také pro vyšší bezpečnost práce a její spolehlivost. Základní rozdělení prostředků pro mechanizaci a automatizaci vedlejších úkonů výrobního procesu je na [2]:

- a) manipulační zařízení,
- b) dopravníky (*Obr. 5 b*),
- c) přípravky (*Obr. 5 a*),
- d) zařízení pro kontrolu,
- e) kopírovací (sledovací) zařízení,
- f) pomocné prostředky (zásobníky, zařízení pro orientaci předmětů, násypky).



a)



b)

Obr. 5) a) Svařovací přípravek [31], b) Dopravník palet [32]

### 3.2 Manipulační zařízení a průmyslové roboty

Velké množství zařízení sloužící k zefektivnění výroby nebo k zjednodušení procesů, ke kterým právě ve výrobě či v každodenním životě dochází, bylo vytvořeno k využití ve velkosériové či hromadné výrobě (různé druhy polohovačů, dopravníků, jednoúčelových podavačů (*Obr. 6*), překládacích zařízení) [3].



a)

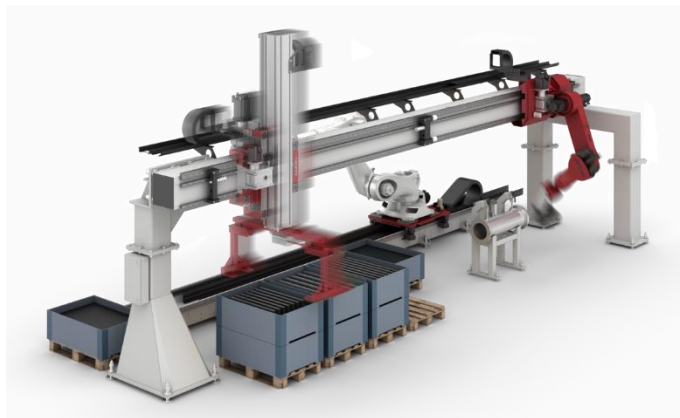


b)

Obr. 6) a) Podavač tyčí [33], b) Detail podavače tyčí [33]



Často však vznikala potřeba vyvinout manipulační zařízení, které bude sloužit buďto k jednomu účelu nebo bude tzv. rychle přestavitelné (*Obr. 7*) se standardním vybavením a bude vykonávat různé úkony ve výrobě. Tato snaha vedla k vývoji manipulátorů a později průmyslových robotů [3].



Obr. 7) Využití průmyslových robotů a možnosti jejich přestavení [34]

### 3.2.1 Definice průmyslových robotů a manipulátorů

Za předpokladu, že zařízení označíme pojmem jako průmyslový robot nebo manipulátor, má většinou některou z těchto vlastností [1]:

#### Manipulační schopnost

Zařízení má možnost uchopovat objekty, přenášet je, případně vykonávat montážní činnost. Má schopnost pracovat s různými nástroji, podobně jako výrobní zařízení.

#### Univerzálnost

Požadavek aby zařízení nesloužilo pouze k jednomu účelu, ale například po změně programu nebo nějakých mechanických částí (chapadla, nástroje atd.) bylo schopné vykonávat jinou práci, třeba i na jiném pracovišti.

#### Vazba s prostředím

V tomto požadavku se zařízení snaží napodobit smysly člověka, jako je zrakové vnímání, hmatová vazba, vnímání pomocí sluchu. U zařízení tyto funkce nazýváme vizuální vazba, doteková vazba, akustická vazba. Toto vše je uskutečňováno pomocí různých čidel (senzorů). Případně je možné ještě zachycovat a zpracovávat skrze tyto čidla informace, které člověk vnímat nemůže.

#### Autonomnost chování

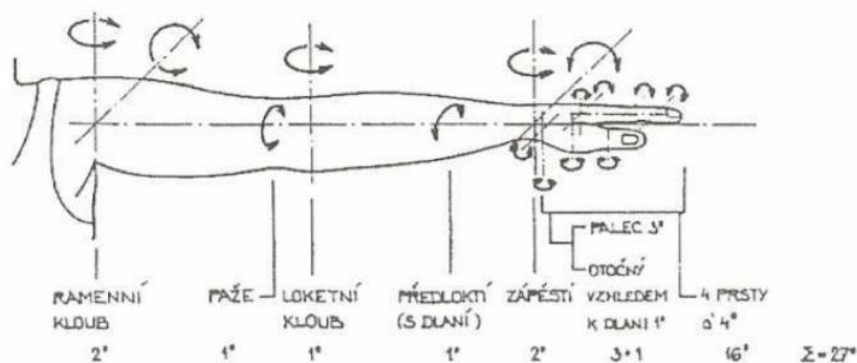
Zařízení je schopné automaticky vykonávat posloupnost úkolů podle určitého programu.

#### Prostorová soustředěnost jednotlivých složek

Požadavek aby mělo zařízení jednotlivé složky soustředěné do jednoho celku, netýká se přímo řídicího systému, protože robot může být řízen i bezdrátově.

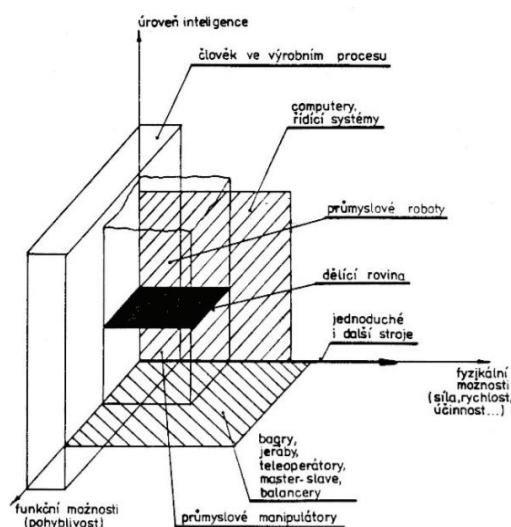
Z výše uvedených požadavků je možná patrné, že se snažíme úzce přiblížit manipulační schopnostem člověka (*Obr. 9*), potažmo lidské ruky, na kterou bychom z technického hlediska, když zohledníme například 27 stupňů volnosti (*Obr. 8*) od ramenního kloubu po konce všech prstů, mohli nahlížet jako na dosti složitý aparát.





Obr. 8) Schéma pohyblivosti lidské ruky [1]

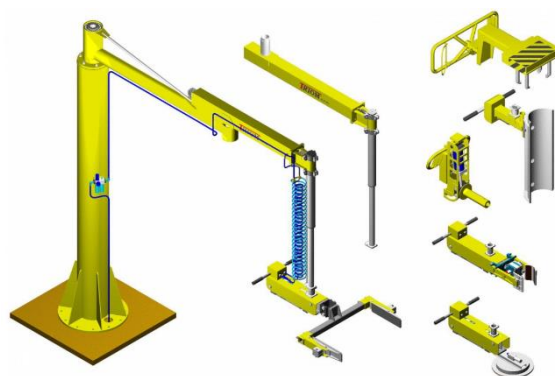
Tato skutečnost ale není podmínkou a v mnoha případech by to nemuselo být ani realizovatelné, nebo by se tento požadavek mohl jevit jako zcela zbytečný a nákladný, při srovnání s tím, jakou funkci by dané zařízení v pracovním procesu vykonávalo. Naopak v praxi, hlavně u zařízení, u kterých nebude ovlivněna touto skutečností jejich konečná funkce, se konstrukci snažíme co nejvíce zjednodušit, což nám většinou snižuje výrobní náklady a zlepšuje určité vlastnosti konstrukce z technického hlediska (například tuhost celé konstrukce).



Obr. 9) Schématické porovnání člověka a stroje ve výrobním procesu [1]

### 3.2.2 Manipulační zařízení

Manipulační zařízení, jež často nazýváme také, jako manipulátory vykonávají v pracovním procesu několik funkcí. Využívají se například k přemísťování předmětů v rovině nebo v prostoru, mění orientaci předmětů, uchopují a odkládají předměty [2]. Slouží také ke kompletaci či skládání jednotlivých dílů k sobě. Zjednodušeně řečeno vykonávají různé funkce často přizpůsobené požadavkům koncového zákazníka, v jehož závodě jsou tato manipulační zařízení nasazena. Mohou opakovat jednodušší pracovní cykly, jež jsou pevně stanovené a sestavené z dílčích pohybů, jejichž velikost je možné seřadit. Pracovní cyklus ve většině případů lze snadno pozměnit například výměnou jednotlivých částí manipulátoru (Obr. 10) (úchopná hlavice, vačky, různé druhy převodů), ale také jiným zapojením řídicího obvodu nebo přeškolením obsluhy. [3]



Obr. 10) Možnosti výměny jednotlivých částí manipulátoru [35]

U těchto zařízení se přikročilo k automatizaci jako u jedněch z posledních, protože operace vyžadující manipulaci s předměty jsou často dosti obtížné pro jejich fyzikální realizaci a to kvůli složitosti vykonávaných funkcí (různá orientace předmětů, správná poloha uchopení, správná síla uchopení). Pro srovnání určité věci se již prováděly automaticky, například doprava obrobků mezi stroji, uložení předmětů v zásobnících a pak jejich následné využití, nebo kontrola různých parametrů výrobku. Pouze manipulace s předměty, jejich vyjímání a vkládání do výrobních zařízení se prováděla ručně (*Obr. 11 a*). Toto vše vedlo ke snaze automatizovat i tyto práce (*Obr. 11 b*). [2]



a)



b)

Obr. 11) a) Obsluha CNC stroje člověkem [36], b) Obsluha CNC stroje manipulátorem [37]

### 3.2.3 Průmyslové roboty

Od manipulátorů se odlišují tím, že jsou tzv. pružně neboli volně programovatelné a mají často rozsáhlejší pohybové možnosti. Velkou výhodou u těchto zařízení je to, že mají možnost snadné a rychlé změny jejich činnosti, což se provede zásahem do programu, který je uložen v paměti řídicího systému. K tomu zda jejich činnost probíhá správně se využívá čidel, které dokážou snímat různé parametry, jako například rychlost pohybu, polohu koncového efektoru, teplotu v určitém bodě. Často se osazují různými nástroji nebo pomůckami pro vykonávání určité technologie, podle toho se pak jedná například o montážní, svařovací (*Obr. 12 a*) nebo lakovací (*Obr. 12 b*) roboty. [3]



a)

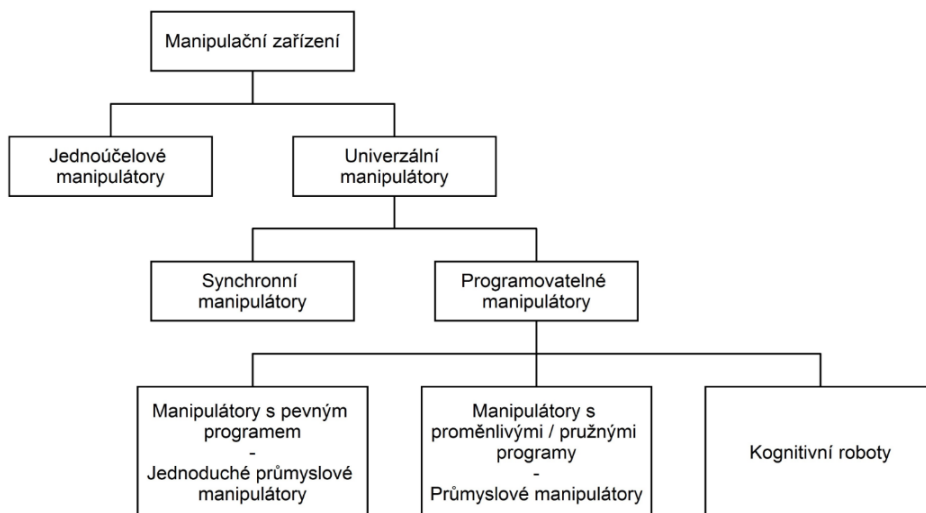


b)

Obr. 12) a) Svařovací robot [38], b) Lakovací robot [39]

### 3.2.4 Rozdělení manipulačních zařízení a průmyslových robotů

Manipulační zařízení, případně průmyslové roboty se dělí podle funkce, kterou vykonávají, dále pak podle jejich stupně řízení nebo složitosti provedení na (Obr. 13) [2]:



Obr. 13) Rozdělení manipulačních zařízení a průmyslových robotů [2]

#### Jednouúčelové manipulátory

Jsou konstruovány tak, aby byly schopny provádět jeden nebo více podobných, avšak ve většině případů jednoduchých pracovních úkonů. Často jsou součástí výrobního stroje, který obsluhují a tvoří s tímto strojem nedílný celek (jsou na tomto stroji energeticky i konstrukčně závislé) (Obr. 14 a). Jejich pohyb je většinou řízen řídicím systémem výrobního stroje nebo jeho obsluhou. Mnohdy slouží pro manipulaci s určitým předmětem, nebo s předměty, které jsou si svým geometrickým tvarem nebo hmotností dosti podobné. I kvůli této skutečnosti bývají nazývány jako podavače, výměníky. Funkce, které provádí tento typ manipulátoru, nejsou nijak složité, jedná se většinou o podávání materiálu do stroje, či jeho vyjímání, dále pak mohou fungovat jako manipulátory pro výměnu nástrojů (Obr. 14 b) ve výrobním stroji.



a)



b)

Obr. 14) a) Manipulátor pro výměnu nástrojů [40], b) Manipulátor umístěný na stroji [40]

### Univerzální manipulátory

Nazývají se také jako víceúčelové manipulátory a mají oproti jednoúčelovým manipulátorům větší rozsah manipulačních schopností. Jejich konstrukční provedení a řízení bývá nezávislé na obsluhovaném stroji. Využití těchto manipulátorů je různorodé a často není úplně rozhodující geometrický tvar manipulované součásti nebo typ obsluhovaného výrobního stroje. Nicméně limitujícími faktory pro použitelnost jsou například kinematické parametry (počet stupňů volnosti, rozsah pohybů), přesnost polohování, hmotnost břemen, se kterými pracují. K uchopování předmětů slouží mnohdy jednoúčelové úchopné hlavice, které odpovídají tvaru přenášených břemen, tyto hlavice bývají snadno vyměnitelné (zachování univerzálnosti manipulátoru). Využívají se na různých pracovištích, nebo k obsluze několika typů strojů.

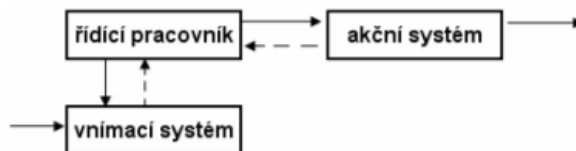
Stacionární manipulátory nemají možnost volného pohybu z místa na místo. Manipulátor tohoto typu však bývá umístěn na nějaké pohybové jednotce (často translační), která umožňuje manipulátoru pojíždět a vykonávat požadovanou operaci.

Mobilní manipulátory, v mnoha případech nazývány také jako lokomoční roboty, mají možnost volného pohybu a nejsou tedy svázány pouze s jedním místem.

Univerzální manipulátory dále dělíme na [2]:

#### a) Synchronní manipulátory

Mnohdy nazývány také jako teleoperátory nebo jako master-slave manipulátory. Řízení manipulátorů průběžně provádí řídicí pracovník. Můžeme na ně nahlížet jako na zesilovací ústrojí, které provádí podobné pohyby jako řídicí pracovník (*Obr. 19 a*). Výkonné ústrojí manipulátoru může být umístěno buď přímo na člověka, nebo mimo něj (tohoto se využívá v prostředích nebezpečných pro člověka, například radioaktivně zamořené prostředí, práce pod hladinou oceánu). Tento typ manipulátorů se využívá tam, kde nelze vynechat řídicí funkci člověka, ale prováděné úkony přesahují jeho fyzické možnosti nebo musí být prováděny na dálku. Řízení manipulátoru řídicím pracovníkem probíhá v uzavřené smyčce (man on-line) [2], toto vše je patrné z blokového schématu (*Obr. 15*). Svým řídicím ústrojím, funkcí a pohonem nejsou zpravidla závislé na obsluhovaném stroji.



Obr. 15) Blokové schéma pro synchronní manipulátory [2]

b) Manipulátory s pevným programem

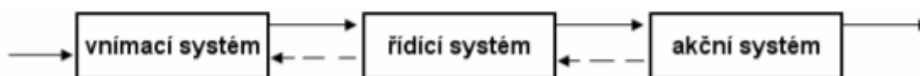
Program zůstává neměnný během celé činnosti manipulátoru, tuto skutečnost nám naznačuje i blokové schéma (Obr. 16). Manipulátory jsou často jednoduchého provedení, často zmiňovány pod názvem (jednoduchý) průmyslový robot. [2]



Obr. 16) Blokové schéma pro manipulátory s pevným programem [2]

c) Manipulátory s proměnlivými programy

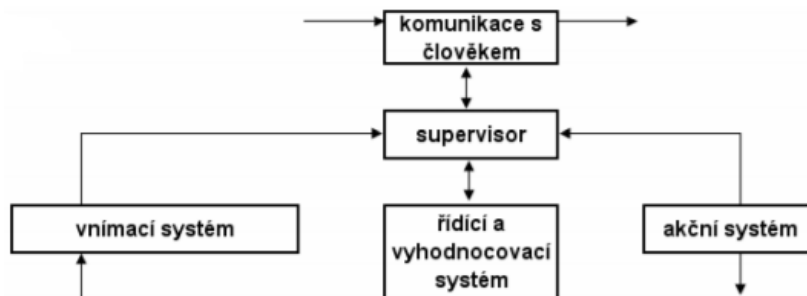
Program je možno zvolit nebo přepnout podle situace, ve které se manipulátor v daný okamžik nachází. Často mají adaptivní řízení a projevují samostatnost při vykonávání určitých funkcí. Bývají označovány také názvem jako průmyslové roboty (Obr. 19 b). Princip fungování je viditelný také na blokovém schématu (Obr. 17). [2]



Obr. 17) Blokové schéma pro manipulátory s proměnlivým programem [2]

d) Kognitivní roboty

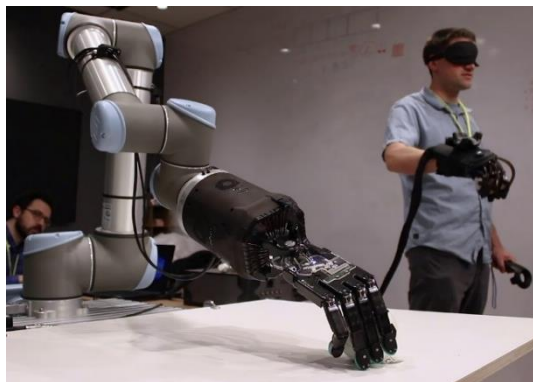
Manipulátory vybavené prvky pro možnosti vnímání a racionálního myšlení (kognitivní proces), avšak nemají možnost citového vnímání a volného jednání. Blokové schéma těchto zařízení (Obr. 18), které je naznačené na obrázku, je již složitější než tomu bylo u přechodných typů manipulátorů. [4]



Obr. 18) Blokové schéma pro kognitivní roboty [2]



Manipulátory s pevným programem (b), manipulátory s proměnlivými programy (c) a kognitivní roboty (d) patří do skupiny programovatelných manipulátorů, u kterých se řízení provádí přes programové ústrojí. U těchto manipulátorů jejich pohony, funkce a řídicí ústrojí jsou nezávislé na obsluhovaném stroji.



a)



b)

Obr. 19) a) Synchronní robot [41], b) Manipulátor s proměnlivým programem [42]

### Stavebnicové manipulátory

Dle literatury [3] do rozdělení můžeme ještě zařadit tzv. stavebnicové manipulátory. Jsou to manipulátory, které jsou vlastně sestaveny ze základních pohybových jednotek. Tyto jednotky vykonávají jednoduché úkony jako posuv, otáčení, uchopování objektů. Počet těchto jednotek závisí na požadavcích, které jsou na manipulátor kladeny. Od počtu základních jednotek se samozřejmě odvíjí komplexnost, tvar a funkce celé konstrukce manipulátoru. Při srovnání s univerzálními manipulátory je rozsah požadovaných funkcí a právě složitost konstrukce přizpůsobena konkrétním požadavkům zákazníka, tak aby byl manipulátor schopen vykonávat přesně ty funkce, které zákazník požaduje (*Obr. 20*). Tento manipulátor je tedy již od začátku konstruován na míru, ale zaručuje v případě potřeby i určitou univerzálnost.



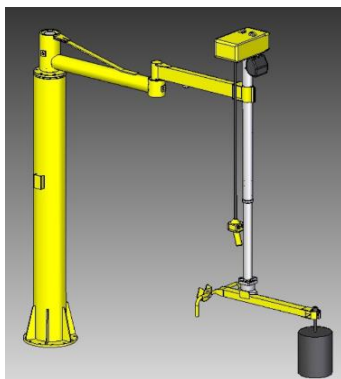
Obr. 20) Manipulátor pro přepravu papíru [43]

### **3.2.5 Činnosti vykonávané pomocí manipulačních zařízení a průmyslových robotů**

Abychom mohli rozhodnout, jaký typ z výše uvedených manipulátorů zvolíme a následně jaké parametry, či konstrukční uspořádání zařízení pro určitou aplikaci upřednostníme, musíme určit, jaké činnosti bude daný manipulátor v provozu vykonávat. Tyto činnosti rozdělujeme na [4]:

### Převážně manipulační

Využívá se hlavně k přemísťování součástí (*Obr. 21*) a provádění rozličných úkonů pomocí úchopného ústrojí.



Obr. 21) Manipulátor pro manipulaci s břemeny [35]

### Výrobně technologická

Manipulátor vykonává i technologické operace, které doposud provádělo hlavně nějaké jiné výrobní zařízení či operátoři ve výrobním procesu. Jedná se například o broušení obrobků (*Obr. 22*), vrtání otvorů, měření součástí, ale také o nanášení barev, či bodové nebo obloukové svařování.



a)

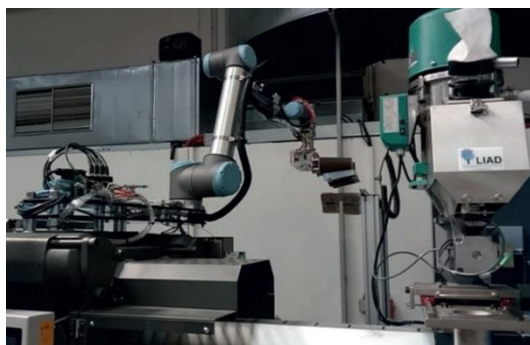


b)

Obr. 22) a) Robot opracovává odlitek broušením [44], b) Detail procesu broušení pomocí robotu [44]

### Manipulační a technologická (smíšená)

Vybavení manipulátoru je oboustranné, tak aby byl schopen provádět manipulační i technologické úkony ve výrobním procesu. Manipulátor je tedy vybaven úchopným ústrojím, které slouží k uchopení součástí. Dále je vybaven nástrojem, tak aby byl schopen provést při uchopení předmětu i nějaký technologický úkon. Například vyjmutí vylisku ze vstřikovací formy a následné ustřížení vtokové soustavy (*Obr. 23*).



Obr. 23) Automatizace vstřikovacího procesu pomocí robotu [45]

### 3.3 Slévárenství

Předmětem této práce je návrh konstrukce manipulátoru pro skládání dvoudílných slévárenských forem, jež je využíván v jednom z procesů probíhajících ve slévárenské technologii. Z tohoto důvodu bude v této kapitole věnována okrajově pozornost právě slévárenství.

#### 3.3.1 Slévárenská technologie

Slévárenská technologie je způsob výroby strojírenských polotovarů nebo součástí, při kterém se roztavený kov vlije do formy, která má tvar a rozměry odpovídající budoucímu výrobku (odlitku) a poté se nechá roztavený kov ve formě zatuhnout. Výsledným produktem tohoto technologického procesu je tzv. odlitek. Touto technologií vyrábíme polotovary nebo součásti, jejichž velikost je velmi různá. Pro srovnání hmotnosti takto vzniklých výrobků se pohybují od několika gramů až po několik desítek tisíc kilogramů (*Obr. 24 b*). Výrobky vzniklé touto technologií mají často konstrukčně složitý tvar (*Obr. 24 a*), proto je tato technologie považovaná za jediný možný způsob zhotovení těchto součástí. [5]

Když vezmeme v potaz sériovou výrobu, tak cena za odlití odlitků a jejich následné obrobení, je obvykle nižší ve srovnání s tím, že bychom dané kusy vyráběli z normalizovaných polotovarů.



a)



b)

Obr. 24) a) Hliníkový odlitek malé velikosti a komplikovaného tvaru [46], b) Historicky nejtěžší odlitek z Vítkovic (371 tun) [47]



Odlitky se nejčastěji odlévají z různých druhů litin, z ocelí na odlitky a ze slévárenských slitin neželezných kovů (Al, Mg, Zn, Ni a další).

Ke zhotovování různých typů odlitků se v dnešní době používá velké množství technologií. Volba správné technologie závisí často na tvaru odlitku, materiálu odlitku, velikosti odlitku a na mnoha dalších faktorech, které je nutno zohlednit.

### 3.3.2 Slévárenská lící forma

Formy slouží k odlévání roztaveného kovu do předem vytvořené dutiny. Tato dutina má většinou velmi podobný tvar výsledné součásti, zvětšený o rozměr vzhledem k teplotní roztažnosti odlévaného materiálu nebo o přídavek na obrábění.

Dnes známe metody jako lití do trvalých forem, forem polotrvalých nebo lití do forem netrvalých, které se po odlití a vyjmutí odlitku rozruší. V této kapitole bude přiblížen vznik forem netrvalých, či polotrvalých, protože tyto formy vznikají při procesu, ve kterém je užíváno manipulátoru.

#### Netrvalá forma

Netrvalé slévárenské formy jsou tvořeny z formovací směsi (žáruvzdorný materiál), což je v mnoha případech křemenný písek a jíl, tato formovací směs se zpravidla upravuje (regeneruje) pro další použití.

Forma netrvalá, čili na jedno použití se využívá hlavně kvůli její ekonomické nenáročnosti. Výsledná forma se sice po lícím procesu rozruší, ale materiál, ze kterého byla utvořena, se většinou znovu využívá.

V mnoha případech pro tvorbu netrvalé formy je nutný formovací rám, který je následně vyplněn formovací směsí (*Obr. 25 a*). Metoda, při které vznikají takovéto netrvalé formy, bývá označována jako formování do dvou rámců. Dalším typem netrvalé formy jsou formy samonosné, které nejsou opatřeny formovacími rámy. Samonosné formy jsou strojově formovány, nebo dnes již mohou být tisknuty na 3D tiskárně (*Obr. 25 b*).



a)



b)

Obr. 25) a) Netrvalá forma ve formovacím rámu [48], b) Písková forma, která vznikla pomocí 3D tisku [49]

#### Polotrvalá forma

Polotrvalé slévárenské formy jsou tvořeny směsí šamotu, žáruvzdorného jílu a grafitu. Mohou se používat k odlévání několikrát, po odlití ve většině případů však dochází k opravám formy.

### 3.3.3 Slévárenské formovací rámy

Jsou nedílnou součástí pro výrobu netrvalých forem metodou formování do dvou rámu. Tvoří tzv. pevný plášť, který slouží pro vyplnění formovací směsí, jež se následně v rámu zhutňuje a zpevňuje.

#### Požadavky na formovací rámy

Rámy jsou navrženy tak, aby formu chránili při rozebírání, vyjímání modelu, opravách dutiny formy, obracení formy a jejím přemísťování. Při plnění formy formovací směsí mají za úkol zachytit vznikající síly, aby nedošlo k rozpadnutí formy, což umožňuje správné zhotovení dutiny pro odlitek.

#### Materiály pro výrobu formovacích rámu

Vyrábí se většinou z šedé litiny (*Obr. 26 a*), oceli, hliníku nebo dřeva (*Obr. 26 b*) a mohou být lité, svařované nebo montované.



Obr. 26) a) Kovový formovací rám [50], b) Dřevěný formovací rám [51]

#### Konstrukce formovacího rámu

Formovací rámy (*Obr. 27*) se dělí na horní formovací rámy a na spodní formovací rámy, po úspěšném zhotovení formy jsou rámy nasazeny na sobě a jejich přesná poloha a spojení se zajišťuje pomocí skládacích kolíků, které se zasouvají do otvorů umístěných v uchách rámu.

Konstrukce je uzpůsobena tak, aby bylo možné rámy vhodně a bezpečně uchytit. Uchycení navíc musí zaručovat manipulovatelnost s rámem, jako je například možnost přemístit rám z místa na místo nebo změna jeho orientace otáčením. Pro tuto skutečnost bývají rámy opatřeny různými držadly nebo čepy.

Okraje rámu bývají zajištěny na vnitřní straně pískovou lištou, což zabraňuje vypadávání formovací směsi při manipulaci s rámem.



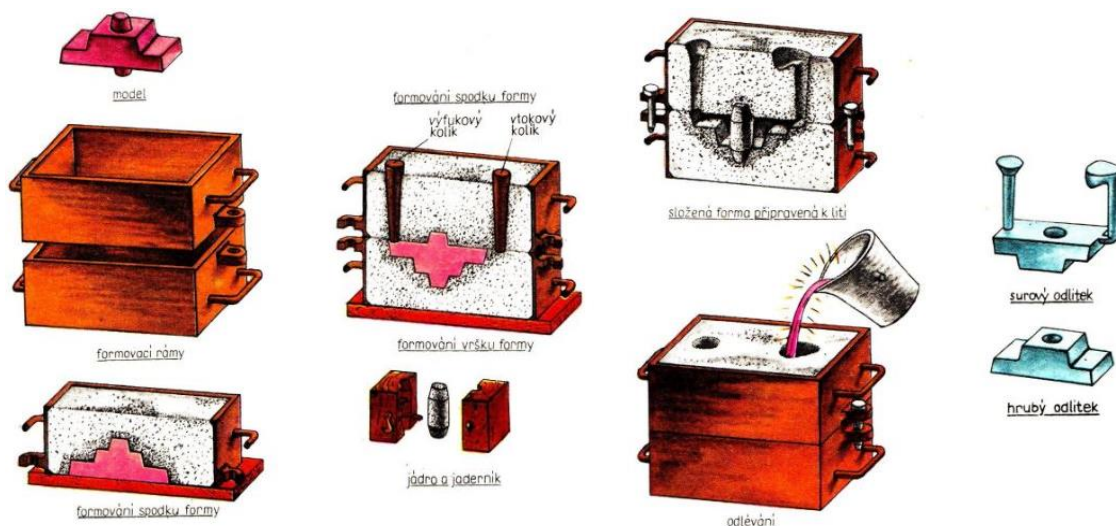
Obr. 27) Formovací rám (upraveno) [12]

### 3.3.4 Formování do dvou ráků

Ke zhotovení formy, která má vzniknout touto metodou potřebujeme model a modelovou desku, formovací materiál (většinou písek nebo formovací směs), pokud má být v odlitku vytvořena dutina tak se používá tzv. jádro.

Postup pro zhotovení formy:

Celý postup je patrný z obrázku níže (Obr. 28) a je následující. Na modelovou desku se položí model a spodní polovina formovacího rámu. Prostor spodního formovacího rámu se vyplní formovací směsí, případně výplňovým pískem a vše se důkladně upěchuje. Forma se potom překlopí o 180 stupňů. Na spodní formovací rám se nasadí horní formovací rám a dojde k jejich vystředění. Do prostoru horního formovacího rámu se vloží výfukový a vtokový kolík a zbylý prostor se vyplní formovací směsí, případně výplňovým pískem a vše se znova důkladně upěchuje. Poté dojde k rozložení formy (znovu rozdělení spodního a horního formovacího rámu), odstraní se model, výfukový a vtokový kolík, pro odlitky s dutinou se vloží jádro. Na závěr se na spodní část formovacího rámu opět nasadí horní část formovacího rámu a forma je poté hotová a připravená k lití.



Obr. 28) Postup formování do dvou ráků [5]

### 3.4 Manipulační zařízení pro manipulaci se slévárenskými formami (rámy)

Manipulační zařízení se často přizpůsobují různým požadavkům. Splňují určité specifické funkce tak, aby jejich práce byla co možná nejefektivnější. Ve slévárenských provozech jsou nejčastěji nasazovány jednoúčelové manipulátory, které jsou často zavěšeny na jeřábu (Obr. 29), který má možnost celý manipulátor i s břemenem zvedat a přesouvat do požadovaných míst. Samotný manipulátor pak slouží pro další manipulaci s rámy forem nebo s formami samotnými.



Obr. 29) Manipulační zařízení zavěšené na háku jeřábu [52]

#### 3.4.1 Důvody užití manipulačních zařízení pro manipulaci se slévárenskými formami

Manipulační zařízení jsou ve slévárenském provozu dosti využívána, protože manipulace s formami nebo s jejich rámy je často opakující se činnost. Používání manipulačních zařízení značně, zvláště při objemných rámech, či formách, zrychluje práci pracovníků provádějících zhotovování takovýchto forem (*Obr. 30*). Využití manipulátoru přispívá také ke snížení fyzické námahy pracovníků a při správném použití zvyšuje bezpečnost práce.

Z výše uvedených důvodů se tedy slévárenské provozy vybavují těmito manipulačními zařízeními, které navíc snižují pravděpodobnost rizika poškození formy při manipulaci s ní.

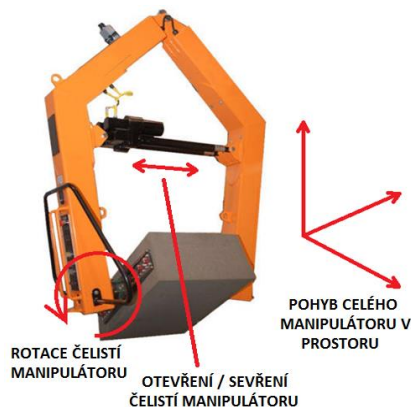


Obr. 30) Pracovník při práci s manipulátorem [52]



### 3.4.2 Funkce manipulačního zařízení pro skládání slévárenských forem

Formy či rámy jsou manipulátory přemísťovány ze skladovacích, výrobních či jiných prostor do místa odlévání. Manipulátory se však nevyužívají pouze k přemísťování z místa na místo ale také k rotaci formy kolem její vodorovné osy o 180 stupňů (*Obr. 31*).



Obr. 31) Hlavní pohyby a funkce manipulačního zařízení pro skládání slévárenských forem [53]

V případě má-li manipulátor možnost provádět s formou výše popsané pohyby, tak může být plně využíván k procesu skládání slévárenských forem, jak bylo popsáno v předchozí kapitole (*kap. 3.3.4*), kde zkrátka všechny činnosti se spodním nebo horním formovacím rámem mohou být prováděny za pomoci manipulátoru.

### 3.4.3 Hlavní části manipulačního zařízení pro skládání slévárenských forem

Manipulátory pro skládání slévárenských forem mají různé typy konstrukčního uspořádání (*kap. 3.4.4*). Sestávají se však z částí, které i když jsou v některých případech vizuálně odlišné, vykonávají podobné funkce (*Obr. 32*).

Často je snaha dosáhnout určité variability, tak aby manipulátory mohly pracovat ve zvoleném rozsahu s formami různých hmotností a rozměrů. Toho se dosahuje různými druhy čelistí, které se ve většině případů dají na manipulátoru vyměnit, dále pak různými druhy úchopů formy, nastavením síly sevření nebo určitým maximálním zdvihem pohonu mechanismu sevření.



Obr. 32) Hlavní části manipulačního zařízení pro skládání slévárenských forem [54], [52]

### Rám manipulátoru

Rám slouží jako nosný prvek a tvoří vizuální podobu celého manipulátoru. Na rám manipulátoru jsou pak připevněny další části, které umožňují vykonávat jeho požadované funkce.

### Čelisti pro uchycení formy

Slouží k bezpečnému a vhodnému uchycení formy či formovacího rámu.

### Mechanismus pro otevření / sevření čelistí

Tento mechanismus zajišťuje pohyb čelistí manipulátoru k sobě a od sebe. Dále vyvozuje sílu sevření při uchopování formy či formovacího rámu. V případě požadavku obsluhy zajišťuje také upuštění formy či formovacího rámu.

### Mechanismus pro rotaci čelistí

Mechanismus vykonávající s formou rotaci kolem vodorovné osy o 180 stupňů.

### Prvky / mechanismus pro vyvažování

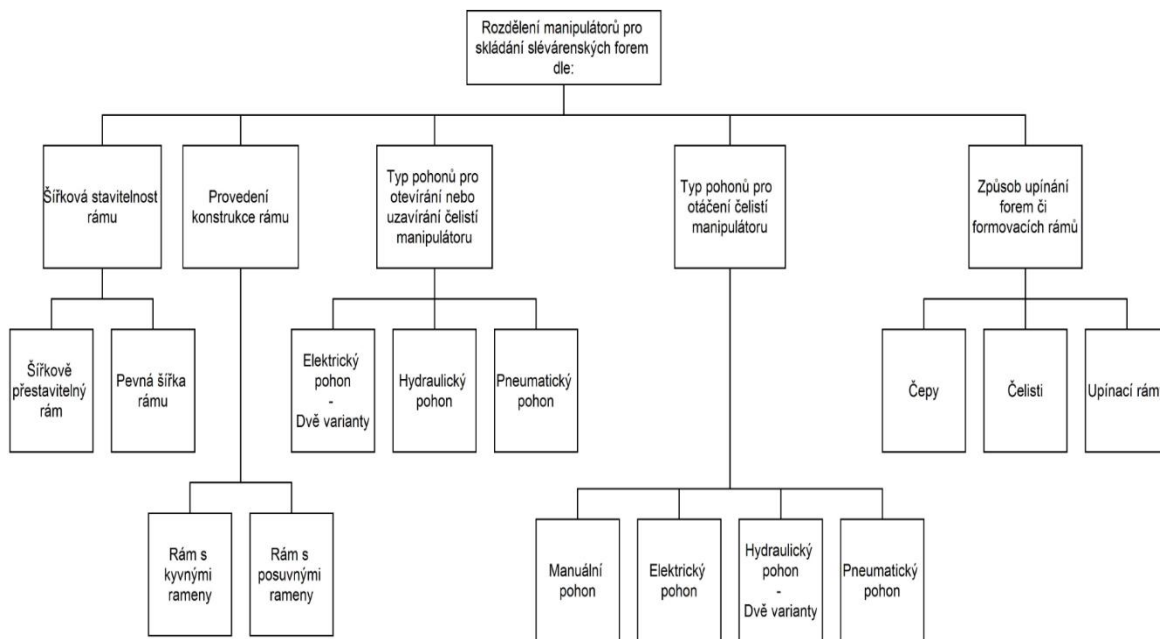
Prvky či mechanismus sloužící k vyvažování formy či formovacího rámu, tak aby se spodní a horní rovina tohoto uchyceného břemena nacházela ve vodorovné rovině.

### Okno pro zavěšení na jeřáb

Slouží k bezproblémovému zavěšení celého manipulátoru na jeřáb.

## **3.4.4 Rozdělení manipulačních zařízení pro skládání dvoudílných slévárenských forem**

Dle literatury nemají tyto manipulátory stanovené žádné rozdělení. Manipulační zařízení pro skládání slévárenských forem mohou být rozčleněny podle zvolených kritérií (*Obr. 33*), vycházejících z rešerše manipulačních zařízení tohoto typu, která jsou dostupná na dnešním trhu. Mezi tyto kritéria řadíme například šířkovou stavitelnost rámu, provedení konstrukce rámu, typ pohonů pro otevírání nebo uzavírání čelistí manipulátoru, typ pohonů pro otáčení čelistí manipulátoru, typy pohonů pro otáčení čelistí manipulátoru.



Obr. 33) Rozdělení manipulačních zařízení pro skládání dvoudílných slévárenských forem

### Podle šířkové stavitelnosti rámu

Podle toho zda má rám manipulátoru schopnost přizpůsobit se rozměrům formy, rozlišujeme manipulátory na:

#### a) Manipulátory s šířkově přestavitelným rámem

Rám je ve většině případů seskupením dvou svařenců, které jsou složeny z normalizovaných profilů. Dva svařence jsou pak mnohdy spojeny rotační (*Obr. 34 b*) nebo posuvnou vazbou (*Obr. 34 a*), což umožňuje pohyb ramen manipulátoru.

Výhoda takovéto konstrukce spočívá hlavně v možnosti upínat předměty různých rozměrů. Za nevýhodu se dá považovat to, že jsme nuceni realizovat posuvnou nebo rotační vazbu mezi svařenci, následně na rám upevnit pohon pro pohyb ramen, tak aby manipulátor mohl vykonávat požadovanou funkci.



a)



b)

Obr. 34) Manipulátory se šířkově stavitelným rámem: a) Provedení s posuvnými rameny [55], b) Provedení s kyvnými rameny [56]

#### b) Manipulátory s pevnou šířkou rámu

V některých případech je předem jasné, že bude prováděna manipulace pouze s břemeny, které mají celkové rozměry, jež se mění jen zřídka a velmi nepatrně. Při zohlednění této skutečnosti je možné do provozu nasadit manipulátor, jehož rám tvoří pouze jeden svařenec (*Obr. 35*) a ramena nemají možnost žádného pohybu. V praxi je někdy vyžadováno upínání podél dlouhé hrany formy, v těchto případech se také často využívají manipulátory s pevnou šířkou rámu.

Výhodou je jednoduchost konstrukce, tím že je manipulátor proveden jako jedno těleso tak se zvyšuje jeho celková tuhost. Hlavní nevýhoda spočívá v nemožnosti upínat předměty, jejichž rozměry jsou značně rozdílné.



Obr. 35) Manipulátor s pevnou šířkou rámu [57]

### Podle provedení konstrukce rámu

Podle toho jak je provedena konstrukce rámu manipulátoru, a také podle toho jaký pohyb ramena při jejich funkci vykonávají, rozlišujeme dvě možnosti provedení:

#### a) Manipulátory s rámem s kyvnými rameny

Ramena manipulátoru jsou v horní části spojena čepem a celý rám vizuálně připomíná písmeno A (*Obr. 36*). Ve spodní části jsou ramena opatřena čelistmi, které slouží k uchopení formy nebo rámu formy. Tyto čelisti při přibližování k sobě (uchopení břemena) nebo následném oddalování od sebe (upuštění břemena) mění úhel mezi vodorovnou rovinou. Vzhledem k této skutečnosti bývá mezi rámem a čelistí umístěn kloubový mechanismus, který zaručuje správné natočení čelistí při uchopení břemena. Vyvažovací mechanismus se u tohoto typu konstrukce nevyužívá, protože konstrukce tohoto provedení zaručuje vyváženost v každé poloze při sevření čelistí (při vyváženém břemenu). V případě manipulace s nevyváženými břemeny je rám opatřen madly, pomocí kterých obsluha vyrovnává břemeno do požadované polohy.

Manipulátory tohoto typu se používají především pro manipulaci s formami nižších hmotností a menších rozměrů.

Výhoda této konstrukce spočívá v jednoduchosti provedení a v tom, že není potřeba vyvažovací mechanismus. Nevýhodou je zakomponování kloubového mechanismu.



Obr. 36) Manipulátor s rámem s kyvnými rameny [58]

#### b) Manipulátory s rámem s posuvnými rameny

Vizuálně má rám manipulátoru tvar obdélníku či čtverce (*Obr. 37*). Rám sestává z horního nosníku a dvou ramen, které jsou ve spodní části opatřeny čelistmi, které slouží k uchopení formy nebo rámu formy. Ramena se po horním nosníku od sebe lineárně oddalují (upuštění břemena) nebo naopak přibližují (uchopení břemena). Při tomto lineárním pohybu se nemění úhel mezi čelistmi manipulátoru a vodorovnou rovinou, takže čelisti nemusí být uloženy pomocí kloubového mechanismu. Na horní nosník je uchycen tzv. vyvažovací mechanismus, který umožňuje vyvažování manipulátoru při manipulaci s různě těžkými a různě rozměrnými břemeny. Tento vyvažovací mechanismus funguje automaticky nebo může být řízen obsluhou manipulátoru manuálně.

Manipulátory tohoto typu se používají ve většině případů k manipulaci s formami velkých rozměrů nebo hmotností.

Výhodou konstrukce tohoto rámu je to, že je přizpůsobena k manipulování s břemeny velkých rozměrů a hmotností. Další výhodou spočívá v možném vynechání kloubového mechanismu. Nevýhodou je nutnost vyvažovacího mechanismu.





Obr. 37) Manipulátor s rámem s posuvnými rameny [52]

Podle typu pohonů pro otevírání nebo uzavírání čelistí manipulátoru

Pro pohyb kdy se čelisti od sebe oddalují (upuštění břemena), nebo naopak, kdy se čelisti k sobě přibližují (uchopení břemena), se využívá několika typů pohonů. Podle toho dělíme manipulátory na:

a) Manipulátory s elektrickým pohonem pro otevírání nebo uzavírání čelistí

První variantou, která se pro tuto funkci využívá, je elektrické zařízení označované názvem lineární elektrický aktuátor (*Obr. 38*).

Toto zařízení převádí rotační pohyb elektromotoru na translační pohyb určitého členu, nejčastěji to bývá šroubovice. Součástí zařízení bývá i vhodný převodový mechanismus.

Takovéto pohony se používají pro manipulátory, které pracují s břemeny nižších hmotností (*Obr. 36*) nebo tam kde vazba mezi břemenem a uchopovací částí manipulátoru je realizována tvarovým stykem a ne pouze pomocí tření.



Obr. 38) Elektrický lineární aktuátor [59]

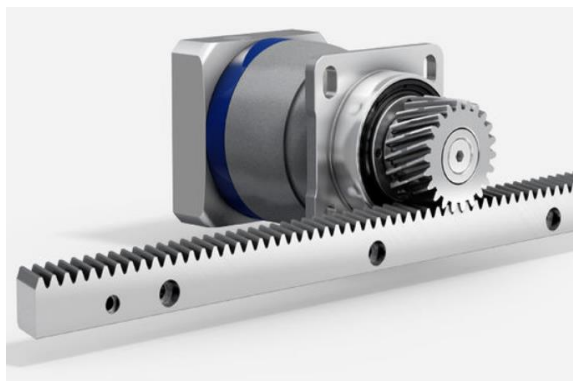
Druhou variantou, využití elektrického pohonu pro otevírání nebo uzavírání čelistí manipulátoru je využití elektromotoru, převodového mechanismu a pastorku se hřebenem (*Obr. 39 a*).

Toto seskupení komponent převádí rotační pohyb elektromotoru přes převodové ústrojí na pastorek, který svým odvalováním po hřebenu způsobuje lineární pohyb ramen, což zaručuje otevírání či uzavírání čelistí manipulátoru.

Manipulátory vybavené elektromotorem, převodovým ústrojím a pastorkem s hřebenem (*Obr. 39 b*) se využívají pro břemena velkých rozměrů a hmotností.

Výhodou využití elektrického pohonu u manipulátoru je jeho vysoká polohovací přesnost, pohyb požadovanou rychlostí, dlouhá životnost, nízké nároky na údržbu, relativně tichý chod a jednoduché vedení elektrické energie k pohonu. Nevýhodou je nutnost užití

různých bezpečnostních prvků (brzdící členy, samosvorné převody) pro bezpečné zajištění břemene při výpadku elektrického proudu. Další nevýhodou je náchylnost vůči vlhkosti.



a)



b)

Obr. 39) a) Pastorek a hřeben [60], b) Detailní pohled na pastorek a hřeben v konstrukci manipulatoru [55]

#### b) Manipulátory s hydraulickým pohonem pro otevírání nebo uzavírání čelistí

U mnoha manipulátorů se využívá hydraulický pohon, nejčastěji to bývá přímočarý hydromotor (*Obr. 40 a*).

Tento pohon mění tlakovou energii stlačené kapaliny (hydraulický olej) na energii mechanickou. Toto pak zapříčiňuje axiální pohyb pístnice v požadovaném směru.

Tyto pohony se využívají u manipulátorů, kde je potřeba vyvodit velké uchopovací síly (*Obr. 40 b*). Proto se využívají pro pohon zařízení uzpůsobených pro manipulaci s těžkými předměty.

Výhoda tohoto pohonu spočívá ve schopnosti vyvodit velké síly při relativně malých rozměrech pohonu. Mezi další výhody lze zařadit plynulý chod, velkou účinnost a spolehlivost, malá hmotnost pohybujících se částí (dobré dynamické vlastnosti). Nevýhoda spočívá v potřebě samostatného energetického bloku (hydraulický obvod), možnosti úniku hydraulické kapaliny mimo tento obvod, znečištění prostředí hydraulickou kapalinou, měnící se vlastnosti hydraulické kapaliny v závislosti na teplotě.



a)



b)

Obr. 40) a) Přímocharý hydromotor [61], b) Manipulátor využívající pohonu pomocí přímocharého hydromotoru [62]

c) Manipulátory s pneumatickým pohonem pro otevírání nebo uzavírání čelistí

Plnit tuto funkci zvládne i pneumatický pohon, v praxi se pro tento účel využívá přímočarý pneumatický motor (*Obr. 41 a*).

Tento pohon mění tlakovou energii stlačené tekutiny (nejčastěji upravený vzduch) na energii mechanickou. Toto pak zapříčiňuje axiální pohyb pístnice v požadovaném směru.

Pneumatické pohony se používají spíše u manipulátorů, kde není nutno vyvodit velké uchopovací síly (*Obr. 41 b*) nebo vazba mezi břemen a uchopovací částí manipulátoru je realizována tvarovým stykem.



a)



b)

Obr. 41) a) Přímocharý pneumatický motor [63], b) Manipulátor využívající pohonu pomocí přímocharého pneumatického motoru [62]

Výhoda těchto pohonů je ve vysoké rychlosti pohybu, rychlosti odezvy, jednoduchosti konstrukce, možnosti odběru stlačeného vzduchu z centrálního rozvodu. Nevýhodou je obtížné řiditelná poloha a rychlost pohybu těchto pohonů, vyšší hlučnost. Stlačitelnost vzduchu způsobuje pohyb s rázy. Obvody náchylné na netěsnost a v případě poruchy (únik média) její složitější odhalení.

Podle typu pohonů pro otáčení čelistí manipulátoru

Pro otáčení formy kolem její vodorovné osy o 180 stupňů se využívají pohony, které přímo otáčejí čelisti manipulátoru. Podle toho rozdělujeme manipulátory na:

a) Manipulátory s manuálním pohonem pro otáčení čelistí

U manipulátorů pracujících s formami nízkých hmotností, zajišťuje tento druh pohybu obsluha.

Pracovník obsluhující tento manipulátor otáčí kolem na hřídeli (*Obr. 42*) nebo pákou a tím zajišťuje otáčení břemena podél vodorovné osy v požadovaném směru.

Výhoda spočívá v konstrukční jednoduchosti a nenáročnosti řešení. Do místa pohonu není nutno přivádět další energetické médium (hydraulický olej, stlačený vzduch, elektrická energie). Nevýhodou je nízký hmotnostní rozsah forem, se kterými může být tímto způsobem manipulováno.



Obr. 42) Manipulátor využívající manuálního pohonu [64]

b) Manipulátory s elektrickým pohonem pro otáčení čelistí

Při použití elektrického pohonu pro otáčení čelistí se využívá elektromotor s integrovanou převodovou skříní (*Obr. 43*).

Rotační pohyb elektromotoru se převádí přes převodové ústrojí na čelisti, a tak dochází k jejich otáčení.



a)



b)

Obr. 43) a) Elektromotor s integrovanou převodovou skříní [65], b) Manipulátor využívající pohonu pomocí elektromotoru s integrovanou převodovou skříní [66]

Hlavní výhody a nevýhody při využití elektrického pohonu jsou popsány výše (v části: Manipulátory s elektrickým pohonem pro otevírání nebo uzavírání čelistí).

c) Manipulátory s hydraulickým pohonem pro otáčení čelistí

Rotaci čelistí kolem jejich vodorovné osy může zajišťovat i hydraulické zařízení a první variantou je kyvný hydromotor (*Obr. 44*).

Tento pohon mění tlakovou energii stlačené kapaliny (hydraulický olej) na energii mechanickou. Toto pak zapříčiňuje rotaci výstupní hřídele hydromotoru v požadovaném směru.



Obr. 44) Kyvný hydromotor [67]

Další variantou je využití rotačního hydromotoru, řetězů a hřídelí, na kterých jsou uchycena řetězová kola (Obr. 45 a).

Rotační pohyb z hydromotoru, se pomocí řetězových převodů přenáší na hřídel (Obr. 45 b), na níž jsou uchyceny čelisti.



a)



b)

Obr. 45) a) Řetězový převod [68], b) Detail manipulátoru využívajícího pohonu pomocí rotačního hydromotoru a řetězového převodu [55]

Hlavní výhody a nevýhody při využití hydraulického pohonu jsou popsány výše (v části: Manipulátory s hydraulickým pohonem pro otevírání nebo uzavírání čelistí).



Obr. 46) Manipulátor využívající pohonu pomocí kyvného hydromotoru [52]



d) Manipulátory s pneumatickým pohonem pro otáčení čelistí

První variantou při vykonávání této funkce při využití pneumatického pohonu je nasazení přímočarého pneumatického motoru v kombinaci s klikovým mechanismem (*Obr. 47*).

Přímočarý pneumatický motor mění tlakovou energii stlačené tekutiny (nejčastěji upravený vzduch) na energii mechanickou. Toto pak zapříčiňuje axiální pohyb pístnice v požadovaném směru. Pístnice je spojena s klikovým mechanismem a ten je spojen s čelistí manipulátoru. Při vysouvání a zasouvání pístnice dochází k otáčení čelistí.

Hlavní výhody a nevýhody jsou popsány výše (v části:

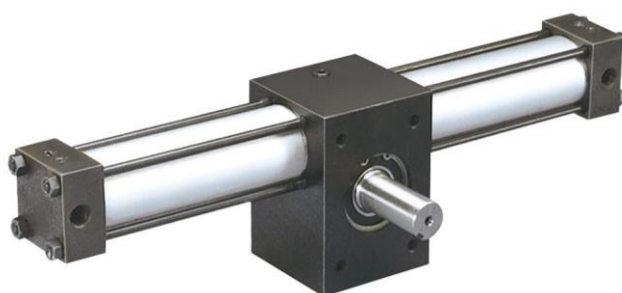
Manipulátory s pneumatickým pohonem pro otevírání nebo uzavírání čelistí). K nevýhodám v tomto případě použití musíme ještě přiřadit, že pro vykonávání funkce otáčení čelistí je zapotřebí klikový mechanismus.



Obr. 47) Manipulátor využívající pohonu pomocí přímočarého pneumatického motoru [69]

Druhou variantou je použití kyvného pneumatického motoru (*Obr. 48*), který dokáže tuto funkci vykonávat také.

Tento pneumatický motor mění tlakovou energii stlačené tekutiny (nejčastěji upravený vzduch) na energii mechanickou. Toto pak zapříčiňuje rotaci výstupní hřídele pneumatického motoru v požadovaném směru.



Obr. 48) Kyvný pneumatický motor [70]

Hlavní výhody a nevýhody při využití hydraulického pohonu jsou popsány výše (v části: Manipulátory s pneumatickým pohonem pro otevírání nebo uzavírání čelistí).

### Podle způsobu upínání forem či formovacích ráků

Formy a ráky jsou rozdílných rozměrů a hmotností, to často vede ke specifickým požadavkům na upínání forem či ráků, podle toho rozdělujeme manipulátory na:

#### a) Manipulátory pro upínání formovacích ráků pomocí čepů

V případě, že je v pracovním procesu vyžadováno formování do dvou ráků, bývají konce ramen manipulátoru opatřeny západkami (*Obr. 49 a*) pro manipulační čepy, jež jsou součástí formovacích ráků. Toto upnutí (*Obr. 49 b*) je realizováno hlavně pomocí tvarového styku, není tedy nutné vyvozovat velké upínací síly.



a)



b)

Obr. 49) a) Detail na upínací část [55], b) Formovací rám upnutý pomocí čepů [55]

#### b) Manipulátory pro upínání samonosných forem pomocí čelistí

Upínání samonosných forem se realizuje pomocí hladkých čelistí, nebo čelistí, které jsou opatřeny hroty (*Obr. 50 a*) pro lepší zajištění nepohyblivé vazby mezi formou a čelistí. V tomto případě se jedná o upnutí silovým stykem, a tak musí být na formu vyvozeny velké svěrné síly, aby nemohlo dojít k jejímu posunutí po upnutí. Je však nutné tyto svěrné síly rozložit na určitou plochu tak, aby nedošlo k poškození formy samotné. Formy bývají často provedeny se zkosenou stěnou, avšak díky kloubovému mechanismu (součást čelistí manipulátoru) se můžou čelisti mírně naklopit a formu bez problémů uchopit (*Obr. 50 b*).



a)



b)

Obr. 50) a) Detail na upínací čelist [53], b) Forma upnutá pomocí čelistí [53]

### c) Manipulátory pro upínání forem pomocí upínacích ráků

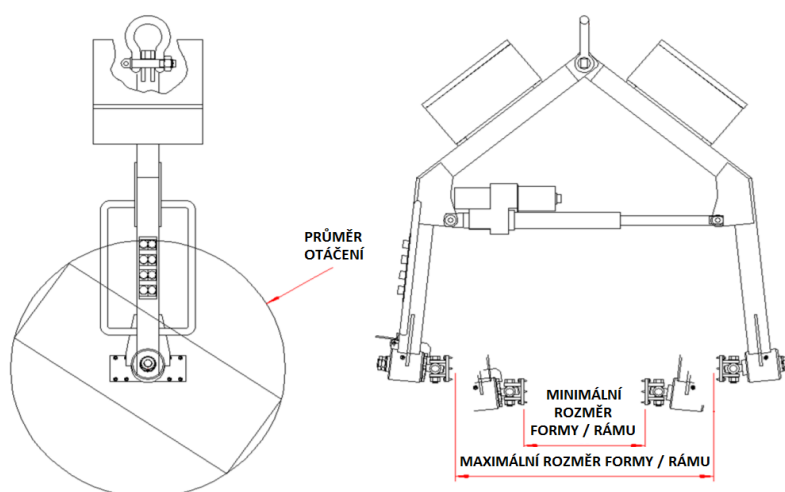
V praxi se v některých případech využívá upínán forem (dlouhé a štíhlé formy) do tzv. upínacích ráků (Obr. 51 a), v jejichž konstrukci jsou zabudovány upínací prvky. Tyto upínací ráky nám umožní upínat formu za její delší stranu (Obr. 51 b). Toto nám zaručuje rovnoměrnější rozložení svěrné síly a menší pravděpodobnost, že dojde k poškození formy, než kdybychom ji upínali za její kratší stranu.



Obr. 51) a) Manipulátor vybavený upínacím rákem [57], b) Forma upnutá pomocí upínacího ráku [57]

### 3.4.5 Přehled výrobců manipulačních zařízení pro manipulaci se slévárenskými formami

Na trhu se vyskytuje mnoho firem, které se zabývají navrhováním a výrobou různých zařízení pro slévárenskou praxi. Níže je zpracován stručný přehled výrobců a některých jejich výrobků, pozornost je věnována hlavně těm, kteří se zabývají výrobou manipulátorů pro skládání slévárenských forem. Ke každému výrobku je přiřazena tabulka, která popisuje jeho určité parametry (Obr. 52). Z přehledu, který je zpracován níže, je zřejmé, že nabídka těchto zařízení je na dnešním trhu hojná. Množství typů různého rozměrového provedení je také značné, což nám zaručuje možnost výběru zařízení pro takřka jakýkoliv rozměr formy či formovacího ráku.



Obr. 52) Základní parametry manipulátorů [14]



### Vulcan Engineering

Společnost se sídlem ve Spojených státech amerických zabývá se výrobou různých zařízení, které nacházejí využití při slévárenských procesech. Mezi výrobky společnosti patří manipulátory pro skládání forem, roboty na manipulaci s materiálem, brusky, řezací stroje, polohovače, zařízení pro odlévání odlitků a jejich čištění. Společnost se také zabývá návrhem linek pro zlepšení manipulace s materiálem. [20]

Manipulátory pro skládání slévárenských forem od této společnosti jsou ve většině případů osazeny hydraulickými pohony. Konstrukce rámu je provedena jako rám s posuvnými rameny. V nabídce jsou manipulátory se šířkově přestavitelným rámem (*Obr. 53 a*), ale i manipulátory s pevnou šířkou rámu (*Obr. 53 b*).



a)



b)

Obr. 53) Manipulátory společnosti Vulcan Engineering: a) Manipulátor s šířkově přestavitelným rámem [52], b) Manipulátor s pevnou šířkou rámu [57]

Tab 1) Manipulátory Vulcan Engineering - Šířkově stavitelný rám - Hydraulický pohon [52]

Typové označení	Minimální rozměr formy / rámu [mm]	Maximální rozměr formy / rámu [mm]	Průměr otáčení [mm]	Maximální hmotnost formy /rámu [kg]
<b>2000 TF/TN</b>	762	1270	762	907
<b>4000 TF/TN</b>	914	2438	1066	1814
<b>6000 TF/TN</b>	1422	2438	1270	2721
<b>8000 TF/TN</b>	1930	2794	1270	3629
<b>10,000 TF/TN</b>	2286	3124	1143	4536
<b>12,000 TF/TN</b>	2286	3353	1372	5443
<b>18,000 TF/TN</b>	1778	3175	1524	8165

Tab 2) Manipulátory Vulcan Engineering - Pevná šířka rámu - Hydraulický pohon [57]

Typové označení	Minimální rozměr formy / rámu [mm]	Maximální rozměr formy / rámu [mm]	Průměr otáčení [mm]	Maximální hmotnost formy / rámu [kg]
<b>8000 PF</b>	762	1066	1143	3629
<b>10,000 PF</b>	965	1575	1727	4536
<b>12,000 PF</b>	-	-	-	5443
<b>15,000 PF</b>	965	1575	1727	6804
<b>20,000 PF</b>	-	-	-	9072

Vynechání rozměru v tabulce, znamená možnost konzultace tohoto rozměru s výrobcem.

### Tinker Omega

Společnost ze Spojených států amerických. Firma vyrábí zařízení pro slévárenský průmysl. Vyrábí například různá zařízení pro úpravu slévárenských písků a pryskyřic (mletí, podávání, dávkování), manipulátory, nanášecí zařízení. [21]

Manipulátory jsou osazeny elektrickými, pneumatickými nebo hydraulickými pohony. Rámy manipulátoru jsou šířkově stavitelné a jsou provedeny jako rámy s kyvnými rameny (*Obr. 54 a*) nebo rámy s posuvnými rameny (*Obr. 54 b*). U elektrické verze společnost umožňuje zákazníkovi volbu pohonu pro otáčení čelistí. Zákazník si může zvolit mezi manuálním otáčením čelistí nebo otáčením za pomoci pohonu.



a)



b)

Obr. 54) Manipulátory společnosti Tinker Omega: a) Manipulátor s rámem s kyvnými rameny [71], b) Manipulátor s rámem s posuvnými rameny [71]

Tab 3) Manipulátory Tinker Omega - Rám s kyvnými rameny - Elektrický pohon [71]

Typové označení	Minimální rozměr formy / rámu [mm]	Maximální rozměr formy / rámu [mm]	Průměr otáčení [mm]	Maximální hmotnost formy / rámu [kg]
<b>E350</b>	275	750	350	350
<b>E900-750</b>	375	975	750	900
<b>E1000</b>	400	1300	800	1000
<b>E1250</b>	550	1750	825	1250

Tab 4) Manipulátory Tinker Omega - Rám s kyvnými rameny - Hydraulický pohon [71]

Typové označení	Minimální rozměr formy / rámu [mm]	Maximální rozměr formy / rámu [mm]	Průměr otáčení [mm]	Maximální hmotnost formy / rámu [kg]
<b>H2000</b>	525	1500	1100	2000
<b>H3000</b>	680	1850	1200	3000
<b>H4000</b>	960	2478	1500	4000

Tab 5) Manipulátory Tinker Omega - Rám s posuvnými rameny - Hydraulický pohon [71]

Typové označení	Minimální rozměr formy / rámu [mm]	Maximální rozměr formy / rámu [mm]	Průměr otáčení [mm]	Maximální hmotnost formy / rámu [kg]
<b>B1500</b>	775	1450	800	1500
<b>B3000</b>	950	1750	950	3000
<b>B5000</b>	1100	1900	1050	5000
<b>B7500</b>	1250	2500	1125	7500
<b>B10000</b>	1650	3200	1250	10000
<b>B15000</b>	2000	3750	1300	15000

#### Quiptec

Kanadská společnost zabývající se výrobou různých manipulátorů, rotačních stolů, transportních vozíků a přepravků pro slévárenský průmysl. [22]

Manipulátory pro skládání slévárenských forem mají šířkově stavitelný rám, který je proveden jako rám s kyvnými rameny (*Obr. 55*). Pohon částí manipulátoru ve většině případů zajišťuje elektrické zařízení, které může být i bateriově napájené. Firma umožňuje zákazníkovi volbu, zda požaduje pohon pro otáčení čelistí, nebo zda si zvolí uskutečňování tohoto pohybu pouze manuálně.



Obr. 55) Manipulátor s rámem s kyvnými rameny, pohony napájeny z baterie [72]

Tab 6) Manipulátory Quiptec - Rám s kyvnými rameny - Elektrický pohon - Manuální otáčení [78]

Typové označení	Minimální rozměr formy / rámu [mm]	Maximální rozměr formy / rámu [mm]	Průměr otáčení [mm]	Maximální hmotnost formy / rámu [kg]
QSE700	305	660	356	318
QSE2000-L	483	1499	762	907
QSE2000-S	381	991	635	907

Tab 7) Manipulátory Quiptec - Rám s kyvnými rameny - Elektrický pohon [78]

Typové označení	Minimální rozměr formy / rámu [mm]	Maximální rozměr formy / rámu [mm]	Průměr otáčení [mm]	Maximální hmotnost formy / rámu [kg]
QSR2000-L	483	1321	813	907
QSR2000-S	305	864	610	907
QSR1K	406	1321	884	907
QSE2K	457	1219	813	1134
QSR4K	660	1422	838	1814
QSE6K	762	1524	1016	2722
QSR10K	889	2032	1397	4536
QSR15K	1829	3048	1219	6804

#### Foundry Machinery & Spares Limited

Společnost z Velké Británie, která se zabývá výrobou zařízení pro slévářskou praxi. Mezi nabízené výrobky společnosti patří manipulátory pro skládání slévářských forem, dopravníky, nakladače, zařízení pro úpravu slévářských směsí. [23]

Manipulátory jsou konstruovány jako manipulátory s šířkově přestavitelným rámem. Rám je proveden jako rám s kyvnými rameny (*Obr. 56*). Manipulační zařízení jsou osazena elektrickými, hydraulickými nebo pneumatickými pohony.



a)



b)

Obr. 56) Manipulátory společnosti Foundry & Spares Limited: a) Manipulátory s rámem s kyvnými rameny [73], b) Manipulátory s rámem s kyvnými rameny (větší verze) [73]

Tab 8) Manipulátory FMS - Rám s kyvnými rameny - Elektrický pohon [14]

Typové označení	Minimální rozměr formy / rámu [mm]	Maximální rozměr formy / rámu [mm]	Průměr otáčení [mm]	Maximální hmotnost formy / rámu [kg]
MM2	300	650	350	500
MM3	450	950	500	750
MM4	600	1050	600	750
MM5	650	1200	750	1000

Tab 9) Manipulátory FMS - Rám s kyvnými rameny - Hydraulický pohon [14]

Typové označení	Minimální rozměr formy / rámu [mm]	Maximální rozměr formy / rámu [mm]	Průměr otáčení [mm]	Maximální hmotnost formy / rámu [kg]
MM3	450	950	500	1000
MM4	600	1050	600	1000
MM5	650	1200	750	2000

Tab 10) Manipulátory FMS - Rám s kyvnými rameny - Pneumatický pohon [14]

Typové označení	Minimální rozměr formy / rámu [mm]	Maximální rozměr formy / rámu [mm]	Průměr otáčení [mm]	Maximální hmotnost formy / rámu [kg]
MM2	300	650	350	250
MM3	450	950	500	500
MM4	600	1050	600	500

### Palmer Manufacturing & Supply

Společnost ze Spojených států amerických. Firma se zaměřuje na výrobu zařízení pro slévárenský průmysl. Nabízí výrobky jako formy pro slévárenský průmysl, různé typy míchaček, ohříváčů, zařízení pro testování jader, mlecích zařízení, manipulátory pro skládání slévárenských forem. [24]

Manipulátory této společnosti jsou konstruovány jako manipulátory s přestavitelnou šířkou rámu. Společnost nabízí manipulátory s rámem s kyvnými rameny (*Obr. 57 a*) ale i s rámem s posuvnými rameny (*Obr. 57 b*). Pohon částí manipulátorů zajišťují elektrické a hydraulické pohony. U manipulátoru PMH-500 je otáčení čelistí řešeno manuálně obsluhou zařízení.



a)



b)

Obr. 57) Manipulátory společnosti Palmer Manufacturing & Supply a) Manipulátory s rámem s kyvnými rameny [56], b) Manipulátor s rámem s posuvnými rameny [55]

Tab 11) Manipulátory Palmer Manufacturing - Rám s kyvnými rameny [56]

Typové označení	Minimální rozměr formy / rámu [mm]	Maximální rozměr formy / rámu [mm]	Průměr otáčení [mm]	Maximální hmotnost formy / rámu [kg]
PMH-500	305	762	381	227
PMH-1000	356	1067	584	454
PMH-2000	508	1321	660	907
PMH-4000	610	1524	965	1814
PMH-6000PR	762	1676	1219	2722

Tab 12) Manipulátory Palmer Manufacturing - Rám s posuvnými rameny [55]

Typové označení	Minimální rozměr formy / rámu [mm]	Maximální rozměr formy / rámu [mm]	Průměr otáčení [mm]	Maximální hmotnost formy / rámu [kg]
PMH-4000-H	610	1473	762	1814
PMH-6000-H	762	1575	914	2722
PMH-10000-H	1219	2438	1219	4536

## 4 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Při konstrukci nových zařízení se často setkáváme s řadou problémů, které je nutné vyřešit. Jako efektivní nástroj pro řešení problémů se často využívá systémový přístup, který nám umožňuje k problémům přistupovat sofistikovaným způsobem a ukazuje nám, co vše by mělo být zahrnuto do procesu řešení různých problémů. Takovýto přístup nám výrazně zvyšuje možnost uspokojivého vyřešení problémové situace s čímž je spojeno i dosažení požadovaných výsledků.

### 4.1 Problémová situace

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitolách (*kap. 3.1.1, kap. 3.4.1*) v dnešní době jsme nuceni zařazovat různá zařízení, která nám usnadňují a zrychlují práci. Ve slévárenské praxi u procesu skládání dvoudílných forem jsou k tomuto účelu využívány manipulátory. Avšak při návrhu takovýchto zařízení se konstruktér setkává s problémy, které budou popsány níže.

### 4.2 Formulace problému

Návrh a konstrukční zpracování manipulátoru pro skládání dvoudílných slévárenských forem. Konstrukční řešení se bude odvíjet od zadaných maximálních rozměrů rámu formy a její hmotnosti.

### 4.3 Formulace cílů řešení

Cíle diplomové práce jsou následující:

- Zvolení vhodného způsobu řešení zadaného úkolu
- Výběr a zdůvodnění konkrétní varianty řešení
- Konstrukční návrh zvolené varianty - 3D model
- Podložení konstrukčního řešení výpočtovou zprávou
- Zpracování výkresové dokumentace vybraných uzlů navrženého manipulátoru
- Závěrečné shrnutí a doporučení pro praxi

### 4.4 Popis řešené soustavy

V praktické části diplomové práce je řešen návrh a konstrukce manipulátoru pro skládání dvoudílných slévárenských forem. Vzhledem k této skutečnosti je třeba vytvořit výpočtový model zvolených částí zařízení (rameno), které slouží pro výpočet dané části v softwaru využívajícího metodu konečných prvků a další části ověřit analytickým výpočtem (ložiska, hřídel, části lineárního vedení).

Objektem řešení je manipulátor, který lze podle provedené analýzy současného stavu poznání (*hlavně kap. 3.4.4*) a na základě zvolené varianty (*kap. 5.4.2*) definovat jako manipulátor s šířkově přestavitelným rámem. Konstrukce rámu je provedena jako rám s posuvnými rameny, veškeré funkce zařízení (*Obr. 31*) jsou zprostředkovávány pomocí hydraulických pohonů. Upínání forem je řešeno pomocí čepů, jež jsou součástí formovacího rámu.

Ze zadání plyne, že maximální rozměry rámu formy, se kterou bude manipulátor pracovat, jsou 1000x800x300 mm a hmotnost cca 400 kg.

## **4.5 Systém podstatných veličin**

Důležité je vytvořit systém obsahující množinu podstatných veličin, jež zahrnují prvky objektu a jeho okolí, které jsou podstatné z hlediska řešeného problému. Struktura takového systému se sestává z devíti podmnožin, definovaných v literatuře [6]. Vynechání nebo zanedbání některé z podstatných veličin je základní chyba, která může vést k nesprávným výsledkům.

### **4.5.1 S0 - Veličiny popisující okolí entity**

Entita se využívá ve slévárenském pracovním procesu a vyskytuje se v místech, která jsou rovna maximálnímu dosahu jeřábu. Při provozu entity nebo při jejím přemísťování z místa na místo je s ní ve stálém kontaktu proškolená obsluha. V okolí entity se dále vyskytují různé slévárenské pomůcky (modelová zařízení, jádra, formovací rámy).

### **4.5.2 S1 - Geometrie a topologie entity**

Entita je vnímána jako trojrozměrný objekt, jehož rozměry a tvar jsou navrženy na základě výpočtů, jejichž východiskem byly hodnoty vycházející ze zadání. Tento tvar a rozměry umožňují entitě vykonávat funkci v plném rozsahu a to tak, jak je od ní očekáváno. Tato podmnožina je tedy popsána podle celkových rozměrů entity a rozměrů jejích dílčích součástí.

### **4.5.3 S2 - Vazby a interakce entity s okolím**

Entita je zavěšena na hák jeřábu takovým způsobem, aby při jejím provozu nemohlo dojít k jejímu uvolnění a nechtěnému odepnutí. Dále je entita v kontaktu s proškolenou obsluhou, která s entitou přichází do fyzického kontaktu dotykem při ovládání pomocí ovládacího panelu a také při dotyku model, které slouží k vyrovnání entity do požadované polohy. Další vazba mezi entitou a okolím je realizována dotekem čelistí manipulátoru a formovacího rámu. V případě potřeby je možné k entitě přivést rozvod stlačeného vzduchu nebo elektrické energie.

### **4.5.4 S3 - Aktivace entity s okolím**

K aktivaci entity s okolím dochází pomocí jeřábu, který na pokyn obsluhy má možnost entitu přemístit na požadované místo. Dalším aspektem aktivace entity s okolím je aktivace pomocí pohonů, které jsou umístěny přímo na entitu. Tyto pohony slouží pro otevírání a uzavírání čelistí manipulátoru nebo k otáčení čelistí manipulátoru a tím umožňují manipulaci s formovacím rámem. Posledním hlediskem, které je nutno zohlednit je to, že k aktivaci entity s okolím může dojít lidskou silou, když obsluha bude chtít pomocí model k tomu určených vyrovnat polohu entity.

### **4.5.5 S4 - Ovlivňování entity s okolím**

Na břemeno, které je uchyceno pomocí čelistí, jež jsou součástí entity, působí tíhová síla a při jeho rozpohybování působí na břemeno setrvačné síly. Toto způsobuje zatížení jednotlivých částí entity, což je nutno brát na zřetel.

### **4.5.6 S5 - Oborové vlastnosti struktury entity**

Entita je vyrobena z různých, převážně však ocelových materiálů, které mají určité charakteristické vlastnosti jako je mez kluzu  $R_e$ , mez pevnosti  $R_m$ , hustotu  $\rho$ , modul pružnosti v tahu  $E$ , modul pružnosti ve smyku  $G$ , Poissonovo číslo  $\mu$  atd.



#### 4.5.7 S6 - Veličiny popisující procesy a stavy entity

Procesy a stav jsou popsány pomocí napěťových charakteristik v jednotlivých částech entity (rameno, hřídel). Mezi další procesy a stavy lze zahrnout otáčení čelistí entity a stavy vybraných částí po určité době používání (ložiska).

#### 4.5.8 S7 - Veličiny popisující projevy entity

Mezi veličiny popisující projevy entity můžeme zařadit deformační stavy (posuvy) v jednotlivých bodech entity nebo rychlost otáčení čelistí.

#### 4.5.9 S8 - Důsledky projevů

Důsledkem projevů může být vznik mezního stavu deformace nebo mezního stavu určitého typu lomu na některé z částí entity, což může vyvolat nefunkčnost entity nebo nebezpečí pro okolí entity. Dalšími důsledky projevů může být opotřebování ložisek, což vede k omezené funkčnosti entity.

### 4.6 Typ zadaného problému

Vstupem do výpočtového algoritmu jsou podmnožiny S0 (veličiny popisující okolí entity), S1 (geometrie a topologie entity), S2 (vazby a interakce entity s okolím), S3 (aktivace entity s okolím), S4 (ovlivňování entity s okolím) a S5 (oborové vlastnosti struktury entity). Výstupem z algoritmu pak jsou podmnožiny S6 (veličiny popisující procesy a stavy entity), S7 (veličiny popisující projevy entity) a S8 (důsledky projevů).

Znáмыми vstupy do algoritmu řešení jsou podmnožiny S0 až S5 a neznáмыми jsou výstupy z algoritmu, jež reprezentují podmnožiny S6 až S8. Daný problém tedy lze nazvat problémem přímým.

### 4.7 Diskuze k zadanému problému

V této kapitole je uveden návrh a zdůvodnění způsobu řešení zadaného úkolu, který byl blíže popsán v jedné z předchozích kapitol (*kap 4.2*).

#### 4.7.1 Návrh způsobu řešení zadaného problému

Před samostatným návrhem způsobu řešení zadaného problému je potřeba zdůraznit, že vzhledem k tomu v jakém prostředí bude manipulační zařízení používáno (slévárenské provozy), nebyly v systému podstatných veličin zahrnuty skutečnosti týkající se například akustických vlastností, požadavků na čistotu prostředí atd. Bylo tak učiněno z důvodu, že se nepředpokládá, že by například hladina hluku generovaná samostatným manipulačním zařízením byla vyšší, než je tomu v běžném slévárenském provozu. To se týká i nároků na čistotu (využívání pohonů s hydraulickou kapalinou) a dalších možných aspektů, které nebyly výše (*kap. 4.5*) uvedeny.

Po provedeném přehledu současného stavu poznání v oblasti manipulačních zařízení, zejména těch, které se používají ve slévárenském procesu pro skládání dvoudílných forem, byl zvolen systémový přístup pro řešení zadaného problému. Toto pomohlo formulovat problém a po vytvoření systému podstatných veličin je nyní jasné co vše do zadaného problému vstupuje a na co musí být při řešení brán zřetel.

Dalším postupem je zvolení vhodné konstrukční varianty manipulačního zařízení a s tím spojená volba pohonů, způsobů upínání formovacích rámců apod. K tomuto bude využita multikriteriální metoda. Následně bude vytvořen konstrukční návrh zvolené varianty, který bude podložen výpočtovou zprávou. Při vytváření tohoto konstrukčního návrhu bude brán zřetel na všechny možné faktory, které při běžném používání daného zařízení s ním nějak souvisí a které již byli probrány v předchozí kapitole (*kap. 4.5*). V další fázi bude vytvořena výkresová dokumentace vybraných uzlů této konstrukční varianty.

#### **4.7.2 Zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného problému**

Nejprve si osoba, která má za úkol vyřešit zadaný problém, hledá co největší množství informací týkající se tohoto problému. Tuto skutečnost v tomto případě zahrnuje provedení přehled současného stavu poznání. Následně je vhodné k problému přistupovat sofistikovaným způsobem, který nám navíc minimalizuje riziko opomnění nějaké důležité skutečnosti, která se týká zadaného problému. K tomuto je výborným nástrojem, když si řešitel udělá tzv. systémový rozbor řešené problematiky. Následně je nutno zvolit vhodnou variantu na základě znalostí, které byly doposud zjištěny nebo nějakým způsobem zmíněny, k tomu slouží multikriteriální analýza. Po zvolení varianty je nutné provést návrh vlastní konstrukce řešeného zařízení, často je však nutné a vhodné konstrukční řešení podložit výpočtovou zprávou. V závěrečné fázi je vhodné vytvořit výkresovou dokumentaci a zhodnotit celý postup, případně uvést různá doporučení.

Tento způsob se jeví jako logický, pochopitelný a v praxi je sousled výše popsanych činností často užívaný a to právě v pořadí jak bylo popsáno.

## 5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A ZDŮVODNĚNÍ VÝBĚRU KONKRÉTNÍHO ŘEŠENÍ

V závěru této kapitoly je zvolena konstrukční varianta manipulačního zařízení pro skládání dvoudílných slévarenských forem. K volbě vhodného konstrukčního řešení je využíváno vícekritériální analýzy.

Při využití těchto typů analýz je v první řadě nutné vytipovat vlastnosti, které budou touto analýzou srovnávány, následně těmito vlastnostem přiřadit váhy, poté zohlednit jak jednotlivé varianty plní vytipované vlastnosti. Na závěr je celý postup vyhodnocen, z čehož vzejde nejvhodnější varianta.

Volba varianty je také provedena v příloze (*Priloha\_1 - Vıckriterialni\_Analyza*).

### 5.1 Posuzované vlastnosti

Bylo vytipováno několik vlastností (*Tab 13*), které jsou následně zohledněny v konstrukci nového manipulátoru.

Tab 13) Posuzované vlastnosti

Číslo vlastnosti	Název vlastnosti	Tendence změny
1	Technická jednoduchost konstrukce	Rostoucí
2	Bezpečnost při výpadku elektrické energie	Rostoucí
3	Přestavitelnost konstrukce	Rostoucí
4	Náklady na výrobu / pořízení	Klesající
5	Plynulost pohybu při přestavení / otáčení	Rostoucí
6	Nastavení požadované polohy	Rostoucí
7	Hmotnost konstrukce	Klesající

#### 5.1.1 Technická jednoduchost konstrukce

Požadavek na to aby byla konstrukce výrobně snadno proveditelná a při možné poruše jednotlivých částí byly tyto části snadno dostupné pro následnou opravu nebo výměnu. Tato vlastnost nám často usnadňuje následující údržbu celého zařízení a taky práci s ním.

#### 5.1.2 Bezpečnost při výpadku elektrické energie

Při pracovním procesu může nastat situace, že dojde k výpadku hlavního napájecího zdroje. Tato skutečnost by mohla mít negativní důsledky, kdyby k tomu došlo v okamžiku, kdy je manipulováno s břemenem. Proto je zapotřebí s touto vlastností počítat a ochránit tak obsluhu zařízení před případným úrazem. Bezpečnost je v pracovním procesu velmi nutná.

#### 5.1.3 Přestavitelnost konstrukce

Vzhledem k možné variabilitě formovacích rámců, může být při práci vyžadována určitá schopnost přizpůsobitelnosti se takovéto změně. Je tedy zapotřebí brát toto v potaz a zajisti co možná nejefektivnější možnost přestavení konstrukce. Tato vlastnost nám zaručuje využití manipulátoru pro více typů formovacích rámců a tímto nám zaručuje ušetření finančních prostředků, které by museli být jinak vynaloženy pro návrh nového řešení.

#### 5.1.4 Náklady na výrobu / pořízení

U návrhu nových zařízení má většina zákazníků určeno jak velké množství finančních prostředků může pro toto zařízení vyčlenit. Zpravidla se snažíme, aby toto množství bylo co nejmenší, ale nesmí se tak dít na úkor funkčnosti zařízení nebo bezpečnosti pro obsluhu zařízení.

#### 5.1.5 Plynulost pohybu při přestavení ramen / otáčení čelistí

Při upínání formovacího rámu je nutné nalézt vhodnou polohu pro jeho upnutí, proto je vhodné zajistit, aby při upínání byl zajištěn plynulý pohyb ramen manipulátoru. Následně při otáčení formovacího rámu kolem jeho vodorovné osy je vhodné, aby pohyb byl plynulý bez jakýchkoliv větších rázů. Když se zohlední tyto vlastnosti při výběru konstrukčních prvků, které tyto vlastnosti zajišťují, dochází tímto ke zvýšení bezpečnosti obsluhy zařízení a k prodloužení životnosti zařízení samotného.

#### 5.1.6 Nastavení požadované polohy

Když v pracovním procesu dochází k přestavování polohy, není často nutné, aby k tomu docházelo v plném rozsahu pohybu, který umožňuje pohon, co toto přestavení zajišťuje. Často je dostačující přestavení polohy pouze o určitý délkový rozměr, což zvyšuje efektivitu práce.

#### 5.1.7 Hmotnost konstrukce

U některých zařízení je této vlastnosti přiřazována velká váha. V tomto případě použití je celý manipulátor zavěšen na jeřáb, který má nosnost často mnohokrát vyšší než je váha a nosnost manipulátoru samotného. Tato vlastnost není tedy v tomto případě nijak výrazně omezována. Nicméně tato vlastnost je do výčtu posuzovaných vlastností zahrnuta, protože může být zohledňována například při přepravě zařízení mimo jeho pracoviště.

### 5.2 Váhy posuzovaných vlastností

Ke stanovení vah posuzovaných vlastností je v této práci využívána Saatyho metoda.

#### 5.2.1 Saatyho metoda

Funkce Saatyho metody spočívá ve vytvoření čtvercové matice, která slouží ke zjištění preferenčních vztahů dvojic vlastností uspořádaných do matice tak, že v řádcích i sloupcích jsou zapsány posuzované vlastnosti ve stejném pořadí. Vždy probíhá posuzování vlastností uvedené v řádku matice s vlastností, která je uvedena ve sloupci. Určuje se směr preference a velikost této preference, která je vyjádřena pomocí deskriptorů s určitým počtem bodů ze zvolené bodové stupnice [13], popis deskriptorů ukazuje tabulka níže (Tab 14).

Tab 14) Deskriptory pro Saatyho metodu [13]

Počet bodů	Deskriptor
1	Vlastnosti jsou rovnocenné
3	První vlastnost je slabě významnější než druhá vlastnost
5	První vlastnost je silně významnější než druhá vlastnost
7	První vlastnost je velmi silně významnější než druhá vlastnost
9	První vlastnost je absolutně významnější než druhá vlastnost

Hodnoty 2, 4, 6, 8 lze využít ke zjemnění rozlišení velikosti preferencí dvojic posuzovaných vlastností.

### Tvorba matice

Vytvoří se čtvercová matice  $S$ , která má  $n \times n$  prvků, pro jednotlivé prvky matice platí, že prvky na diagonále jsou pouze 1:

$$S_{ii} = 1 \quad (1)$$

A dále platí, že pod diagonálou jsou převrácené hodnoty prvků nad diagonálou matice:

$$S_{ji} = \frac{1}{S_{ij}} \quad (2)$$

Kde:  $S_{ij}$  – Rozlišení řádků a sloupců v matici [–]

### Výpočet vah vlastností

Pro výpočet vah jednotlivých posuzovaných vlastností se využívá geometrického průměru v řádku matice  $S$ . Geometrický průměr se počítá ze vzorce:

$$G_i = \sqrt[n]{s_{11} + s_{12} + \dots + s_{nn}} = \left( \prod_{j=1}^n S_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

Kde:  $n$  – Počet posuzovaných vlastností [–]

$s_{11}$  – Hodnota v prvním řádku a v prvním sloupci matice [–]

$s_{12}$  – Hodnota v prvním řádku a v druhém sloupci matice [–]

$s_{nn}$  – Hodnota  $n$  – tém řádku a v  $n$  – tém sloupci matice [–]

$S_{ij}$  – Rozlišení řádků a sloupců v matici [–]

Poté jsou tyto řádkové geometrické průměry znormovány a dostáváme normované váhy. Normování probíhá pomocí vzorce:

$$v_i = \frac{G_i}{\sum_{i=1}^n G_i} \quad (4)$$

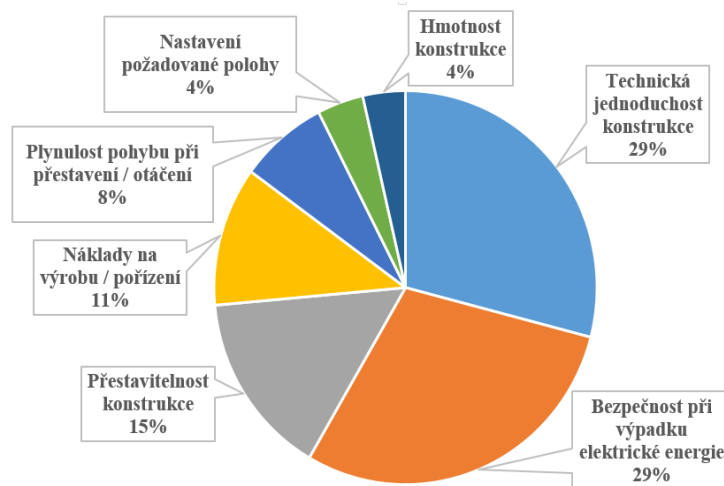
Kde:  $G_i$  – Geometrický průměr [–]

### 5.2.2 Stanovení vah posuzovaných vlastností

Po aplikaci výše zmíněného postupu byly stanoveny váhy jednotlivých posuzovaných vlastností, výsledky je možné vidět v tabulce (Tab 15) a na obrázku (Obr. 58).

Tab 15) Stanovení vah posuzovaných vlastností

Vlastnost	1	2	3	4	5	6	7	Geometrický průměr ( $G_i$ )	Váha ( $v_i$ )
1	1	1	3	3	5	5	5	2,73	0,29
2	1	1	3	5	4	5	4	2,75	0,29
3	1/3	1/3	1	3	3	3	4	1,43	0,15
4	1/3	1/5	1/3	1	3	5	5	1,08	0,11
5	1/5	1/4	1/3	1/3	1	3	5	0,70	0,07
6	1/5	1/5	1/3	1/5	1/3	1	1	0,37	0,04
7	1/5	1/4	1/4	1/5	1/5	1	1	0,34	0,04
<b>Celkem</b>								9,39	1,00



Obr. 58) Váhy posuzovaných vlastností

### 5.3 Postup výběru konkrétního konstrukčního řešení

Manipulátory pro skládání slévárenských forem sestávají z jednotlivých částí, toto bylo uvedeno již dříve (kap. 3.4.3). Při výběru konkrétního řešení je brán na tuto skutečnost zřetel a pomocí bodovací metody je vždy vybráno jedno konkrétní řešení pro každou z částí.

V této kapitole tedy není zpracován návrh různých variant řešení konstrukce jako celku, ale probíhá výběr nejvhodnějšího řešení pro jednotlivé konstrukční části manipulačního zařízení. K tomuto je využíváno skutečností, které byly popsány v kapitole rozdělení manipulačních zařízení pro skládání slévárenských forem (kap. 3.4.4). Každý konstrukční uzel je tedy vybrán tak, aby vyhovoval co možná nejvíce zvoleným vlastnostem (kap. 5.1). Části, mezi nimiž je vybíráno, jsou pro přehlednost uvedeny v tabulce (Tab 16) společně s možnostmi výběru.

Tab 16) Volba jednotlivých konstrukčních částí

Označení části	Možnosti výběru
Šířková stavitelnost rámu	1. Šířkově přestavitelný rám 2. Pevná šířka rámu
Provedení konstrukce rámu	1. Rám s kyvnými rameny 2. Rám s posuvnými rameny
Typ pohonu pro otevírání a uzavírání čelistí manipulátoru	1. Elektrický pohon (aktuátor) 2. Elektrický pohon (pastorek a hřeben) 3. Hydraulický pohon 4. Pneumatický pohon
Typ pohonu pro otáčení čelistí manipulátoru	1. Manuální pohon 2. Elektrický pohon (elektromotor s integrovanou převodovkou) 3. Hydraulický pohon (kyvný hydromotor) 4. Hydraulický pohon (rotační hydromotor a řetězový převod) 5. Pneumatický pohon (přímočarý pneumatický motor) 6. Pneumatický pohon (kyvný pneumatický motor)
Způsob upínání formovacích rámců	1. Upínání pomocí čepů 2. Upínání pomocí čelistí 3. Upínání pomocí upínacích rámců

## 5.4 Konkrétní konstrukční řešení

K výběru konkrétního řešení je využita bodovací metoda.

### 5.4.1 Bodovací metoda

U bodovací metody se předpokládá zvolení bodové stupnice, pomocí které jsou oceňovány jednotlivé posuzované vlastnosti u jednotlivých variant. Nejčastěji se využívá bodové stupnice v rozsahu 1 až 5, jednotlivé body se opatřují deskriptorem [13]. Bodová stupnice a slovní popis je uveden v tabulce (Tab 17). Předpokládá se, že čím je počet bodů vyšší, tím se řešení blíží ideálnímu.

Tab 17) Deskriptory pro bodovací metodu [13]

Počet bodů	Deskriptor
1	Nevyhovuje (minimální hodnota)
2	Vyhovuje málo
3	Vyhovuje dobře
4	Vyhovuje velmi dobře
5	Vyhovuje výborně (maximální hodnota)

Hodnotitel přiřazuje, podle svých subjektivních postojů jednotlivým variantám (řešením) body z této pevně zvolené bodové stupnice. I když je toto hodnocení subjektivní, je často podloženo objektivně zjistitelnými parametry a vlastnostmi.

Výsledné hodnocení daného konstrukčního řešení bylo provedeno tak, že váha jednotlivých posuzovaných vlastností byla vynásobena daným bodovým hodnocením, toto vychází ze vzorce:

$$v_{h_i} = v_i \cdot b_{h_i} \quad (5)$$

Kde:  $v_i$  – Normovaná váha dané vlastnosti [–]

$b_{h_i}$  – Bodové hodnocení dané vlastnosti [–]

Následně tyto hodnocení byly pro jednotlivé posuzované vlastnosti sečteny (v rámci jednoho řešení) a celkové výsledky byly mezi sebou porovnány s ostatními možnými řešeními.

#### 5.4.2 Stanovení konkrétního konstrukčního řešení

Po aplikaci výše zmíněného postupu (kap. 5.4.1.) bylo zvoleno konkrétní konstrukční řešení.

##### Šířková stavitelnost rámu

Jak je viditelné z tabulky níže (Tab 18), v porovnání šířkově přestavitelného rámu s rámem s pevnou šířkou, má vyšší celkové hodnocení šířkově přestavitelný rám, proto je zvoleno toto řešení.

Tab 18) Bodovací metoda - Šířková stavitelnost rámu

Šířková stavitelnost rámu		Šířkově přestavitelný rám		Pevná šířka rámu	
Posuzovaná vlastnost	Váha vlastnosti ( $v_i$ )	Bodové hodnocení ( $b_{h_i}$ )	Výsledné hodnocení ( $v_{h_i}$ )	Bodové hodnocení ( $b_{h_i}$ )	Výsledné hodnocení ( $v_{h_i}$ )
1	0,29	4	1,16	5	1,45
2	0,29	3	0,88	4	1,17
3	0,15	5	0,76	2	0,30
4	0,11	3	0,34	4	0,46
5	0,07	5	0,37	2	0,15
6	0,04	5	0,20	2	0,08
7	0,04	4	0,14	5	0,18
Výsledek celkem			3,86		3,80



### Provedení konstrukce rámu

Níže umístěná tabulka (Tab 19) ukazuje, že celkově vyšší hodnocení získal rám s posuvnými rameny, proto je zvolena tato varianta konstrukce rámu.

Tab 19) Bodovací metoda - Provedení konstrukce rámu

Provedení konstrukce rámu		Rám s kyvnými rameny		Rám s posuvnými rameny	
Posuzovaná vlastnost	Váha vlastnosti ( $v_i$ )	Bodové hodnocení ( $b_{hi}$ )	Výsledné hodnocení ( $v_{hi}$ )	Bodové hodnocení ( $b_{hi}$ )	Výsledné hodnocení ( $v_{hi}$ )
1	0,29	5	1,45	3	0,87
2	0,29	2	0,59	4	1,17
3	0,15	4	0,61	5	0,76
4	0,11	4	0,46	3	0,34
5	0,07	-	-	-	-
6	0,04	3	0,12	5	0,20
7	0,04	4	0,14	3	0,11
Výsledek celkem			3,37		3,45

### Typ pohonu pro otevírání a uzavírání čelistí manipulátoru

Z tabulek (Tab 20) a (Tab 21), je možné vidět, že nejvyšší celkové hodnocení má hydraulický pohon pro otevírání a uzavírání čelistí manipulátoru, proto bylo zvoleno toto řešení.

Tab 20) Bodovací metoda - Typ pohonu pro otevírání a uzavírání čelistí manipulátoru - Část 1

Typ pohonu pro otevírání a uzavírání čelistí manipulátoru		Elektrický pohon (aktuátor)		Elektrický pohon (pastorek a hřeben)	
Posuzovaná vlastnost	Váha vlastnosti ( $v_i$ )	Bodové hodnocení ( $b_{hi}$ )	Výsledné hodnocení ( $v_{hi}$ )	Bodové hodnocení ( $b_{hi}$ )	Výsledné hodnocení ( $v_{hi}$ )
1	0,29	5	1,45	3	0,87
2	0,29	3	0,88	3	0,88
3	0,15	5	0,76	5	0,76
4	0,11	3	0,34	3	0,34
5	0,07	5	0,37	5	0,37
6	0,04	5	0,20	5	0,20
7	0,04	4	0,14	3	0,11
Výsledek celkem			4,15		3,53

Tab 21) Bodovací metoda - Typ pohonu pro otevírání a uzavírání  
čelistí manipulátoru - Část 2

Typ pohonu pro otevírání a uzavírání čelistí manipulátoru		Hydraulický pohon		Pneumatický pohon	
Posuzovaná vlastnost	Váha vlastnosti ( $v_i$ )	Bodové hodnocení ( $b_{hi}$ )	Výsledné hodnocení ( $v_{hi}$ )	Bodové hodnocení ( $b_{hi}$ )	Výsledné hodnocení ( $v_{hi}$ )
1	0,29	4	1,16	5	1,45
2	0,29	4	1,17	3	0,88
3	0,15	5	0,76	5	0,76
4	0,11	4	0,46	5	0,57
5	0,07	5	0,37	2	0,15
6	0,04	5	0,20	2	0,08
7	0,04	3	0,11	5	0,18
Výsledek celkem			4,23		4,07

#### Typ pohonu pro otáčení čelistí manipulátoru

Vzhledem k tomu že pro otevírání a uzavírání čelistí manipulátoru byl zvolen hydraulický pohon, dále po zohlednění skutečnosti, že není akceptován manuální pohon pro otáčení čelistí manipulátoru. Byl zvolen taktéž hydraulický pohon pro otáčení čelistí manipulátoru. Takto bylo rozhodnuto z důvodu, že tento pohon lze připojit do již vytvořeného hydraulického obvodu. A z důvodu jednodušší konstrukční náročnosti je dána přednost kyvnému hydromotoru před rotačním hydromotorem a řetězovým převodem.

#### Způsob upínání formovacích rámu

Při zohlednění skutečnosti, že manipulátor pracuje pouze s formovacími rámy, je nutné volit způsob upínání pomocí upínacích čepů.

### **5.4.3 Diskuze ke stanovení konkrétního konstrukčního řešení**

Na základě analýzy současného stavu poznání v oblasti manipulačních zařízení pro skládání slévarenských forem (kap. 3.2), poznatků z praxe, systémového rozboru problematiky (kap. 4) a vyhodnocovacích metod, kde bylo využito nástrojů vícekritériální analýzy (kap. 5.1, kap. 5.2, kap. 5.4). Bylo zvoleno výsledné konkrétní konstrukční řešení manipulátoru pro skládání dvoudílných slévarenských forem.

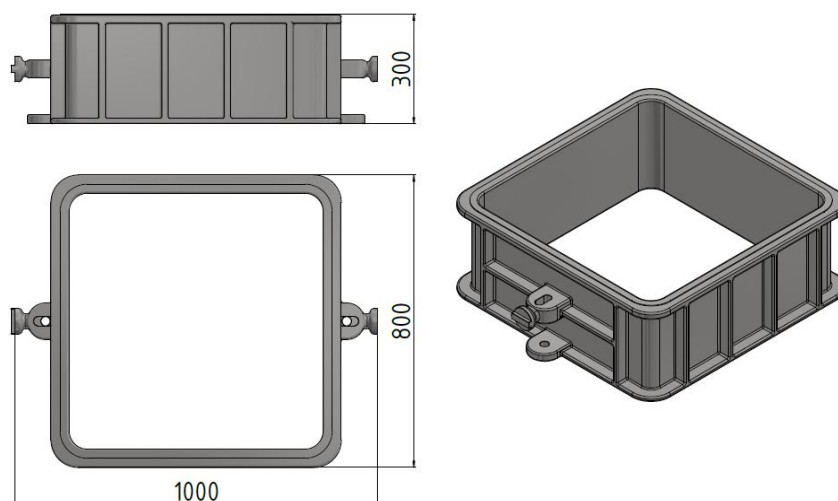
Manipulátor lze charakterizovat podle rozdělení, které bylo provedeno v jedné z předchozích kapitol (kap. 3.4.4) následovně. Jedná se o manipulátor s šířkově stavitelným rámem, konstrukce rámu manipulátoru je provedena jako rám s posuvnými rameny. Otevírání či uzavírání čelistí manipulátoru zajišťuje přímočarý hydromotor, rotaci čelistí manipulátoru obstarává kyvný hydromotor. Upínání formovacích rámu je realizováno pomocí čepů.

## 6 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VLASTNÍHO MANIPULÁTORU PRO SKLÁDÁNÍ SLÉVÁRENSKÝCH FOREM

V této kapitole je proveden konstrukční návrh zvolené varianty manipulátoru pro skládání dvoudílných slévárenských forem. Návrh je podložen výpočtovou zprávou.

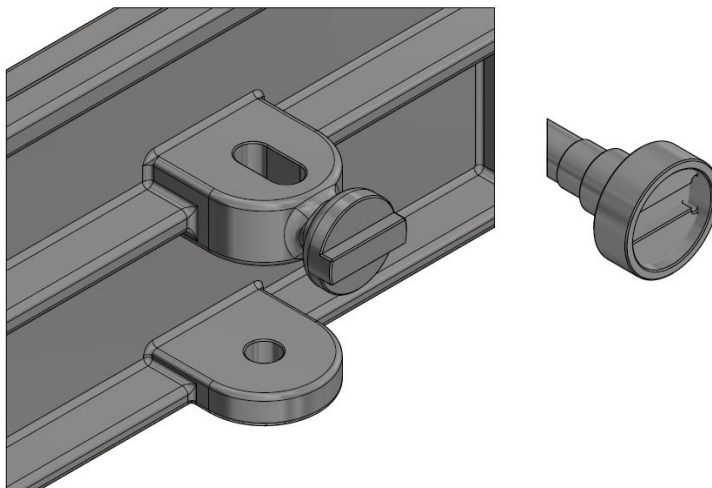
### 6.1 Vstupní parametry

Mezi parametry, které jsou důležité pro návrh vlastní konstrukce manipulátoru, lze zařadit maximální rozměr formovacího rámu, který je 1000x800x300 milimetrů (*Obr. 59*). Dalším limitujícím parametrem je nejvyšší možná celková hmotnost formy, s níž bude manipulátor pracovat, tato hmotnost je stanovena na cca 400 kilogramů.



Obr. 59) Formovací rám se zakótovanými rozměry

Jelikož je upínání formovacího rámu prováděno pomocí čepů, tak za další skutečnost, která musí být na začátku zmiňovaného konstrukčního návrhu zohledněna, je volba způsobu přenosu krouticího momentu od pohonu na formovací rám. To z důvodu aby manipulátor mohl vykonávat požadované funkce. Byl zvolen přístup, který je zmiňován v jedné z předchozích kapitol (*kap. 3.4.4*) a využívá jej jedna z firem uvedených v přehledu výrobců manipulačních zařízení pro manipulaci se slévárenskými formami (*kap. 3.4.5*) a je patrný z obrázku (*Obr. 49*), tedy přenos krouticího momentu a tím otáčení formovacího rámu bude zajištěno tvarovým stykem přes drážku zhotovenou v upínací části hřídele, do které zapadá výstupek, jež je součástí upínacího čepu formovacího rámu (*Obr. 60*). Další věcí, která s tímto typem upínání souvisí, je volba upínací síly. Při tomto typu upínání není třeba volit velké upínací síly, protože jak již bylo zmíněno, tak přenos krouticího momentu je zajišťován tvarovým stykem nikoliv třením. Avšak z důvodu bezpečnosti a dalších skutečností, které by mohly způsobit nechtěné odepnutí formovacího rámu (nevyváženost formy, různé naklápění manipulátoru při práci), je zvolena upínací síla, která odpovídá při přepočtu pomocí tíhové zrychlení zhruba třetině hmotnosti naplněného formovacího rámu tedy  $F_A = 1350 \text{ N}$ .



Obr. 60) Výstupek na čepu formovacího rámu a drážka v upínací části hřídele

Šířková stavitelnost rámu bude zajišťována pomocí přímočarého hydromotoru a lineárního vedení (vozíky a kolejnice). Další součástí rámu bude vyvažovací zařízení, které slouží k přestavení pojezdové kočky, která tvoří vazbu mezi manipulátorem a hákem jeřábu.

## 6.2 Návrh pohonu pro otáčení formovacího rámu

K otáčení formovacího rámu kolem jeho vodorovné osy je využíván kyvný hydromotor. Krouticí moment, jež je na výstupu tohoto hydromotoru je přes hřídel přenášen na upínací čelisti formovacího rámu.

### 6.2.1 Celkový moment setrvačnosti

Pomocí programu Autodesk Inventor Professional byly zjištěny všechny momenty setrvačnosti za zmiňovaným hydromotorem, které tvoří zátěž, tedy kladou odpor proti otáčení hydromotoru. Mezi tyto momenty patří moment setrvačnosti rámu, který je naplněn slévárenským pískem, momenty setrvačnosti hřídelí. Moment setrvačnosti samotného hydromotoru je zanedbatelný. Výsledné momenty setrvačnosti byly zjišťovány k osám, které se nachází v ose otáčení náboje hydromotoru (Obr. 61).

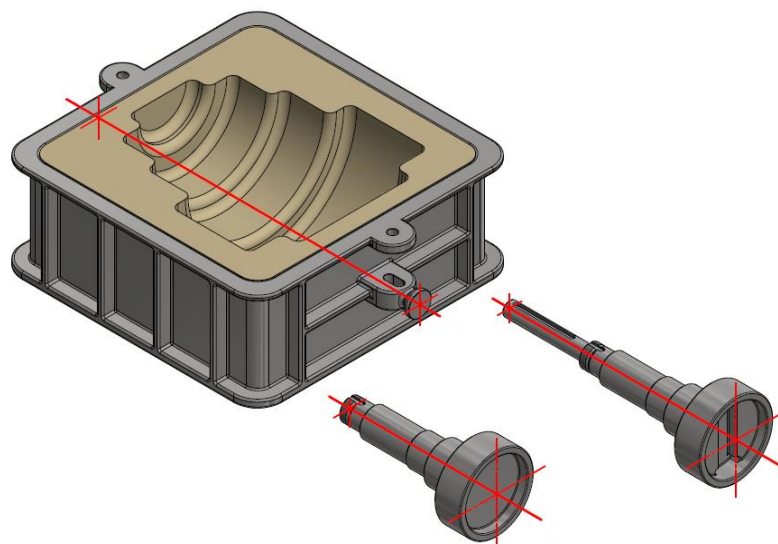
Celkový moment setrvačnosti je vyjádřený vztahem:

$$J_C = J_{FR} + J_{H1} + J_{H2} = 28,5 \cdot 0,002 + 0,002 = 28,504 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (6)$$

Kde:  $J_{FR}$  – Moment setrvačnosti formovacího rámu naplněného pískem [ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ]

$J_{H1}$  – Moment setrvačnosti první hřídele [ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ]

$J_{H2}$  – Moment setrvačnosti druhé hřídele [ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ]



Obr. 61) Osy, ke kterým byly zjišťovány momenty setrvačnosti

### 6.2.2 Čas potřebný pro rozběh hydromotoru na požadované otáčky

Protože v pracovním je často vyžadována téměř okamžitá reakce, volím maximální čas potřebný pro rozběh na požadované otáčky:

$$t_r = 1 \text{ s} \quad (7)$$

### 6.2.3 Rychlost otáčení formovacího rámu

V tomto případě není požadována velká rychlost otáčení formovacího rámu, dokonce v některých případech to není ani možné. Volím otáčky při otáčení formovacího rámu:

$$n_o = 7 \text{ min}^{-1} = 0,117 \text{ s}^{-1} \quad (8)$$

### 6.2.4 Úhlová rychlost při otáčení formovacího rámu

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n_o = 2 \cdot \pi \cdot 0,117 = 0,735 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (9)$$

Kde:  $\pi$  – Ludolfovo číslo [–]

$n_o$  – Otáčky při otáčení formovacího rámu [ $\text{s}^{-1}$ ]

### 6.2.5 Úhlové zrychlení při otáčení formovacího rámu

$$\varepsilon = \frac{\omega}{t_r} = \frac{0,735}{1} = 0,735 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2} \quad (10)$$

Kde:  $\omega$  – Úhlová rychlost při otáčení formovacího rámu [ $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$t_r$  – Čas potřebný pro rozběh hydromotoru na požadované otáčky [s]

### 6.2.6 Krouticí moment hydromotoru

$$M_k = J_C \cdot \varepsilon = 28,504 \cdot 0,735 = 20,95 \text{ Nm} \quad (11)$$

Kde:  $J_C$  – Celkový moment setrvačnosti [ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ]

$\varepsilon$  – úhlové zrychlení při otáčení formovacího rámu [ $\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

### 6.2.7 Volba typu kyvného hydromotoru

Při zohlednění vypočteného krouticího momentu a dále při zohlednění dalších skutečností jako je možné nesymetrické vyplnění formovacího rámu slévárenským pískem, nebo vznik dalších předem nepředvídatelných zatížení, je volen hydromotor, který je dimenzován na větší krouticí moment. Volím kyvný hydromotor od společnosti Parker, s označením HTR .9 - 3603C - CA61 - A. Parametry a vlastnosti hydromotoru ukazuje tabulka (Tab 22).

Tab 22) Parametry hydromotoru HTR .9 - 3603C - CA61 - A [15]

Parametr	Hodnota, možnost
Pracovní tlak [MPa]	6,9
Krouticí moment [Nm]	34
Velikost kyvu [°]	360
Objem potřebný pro otočení o 360 ° [l / ot]	0,037
Možnost rotace [-]	Oboustranná
Možnost uchycení [-]	Čelní strana, šrouby
Přenos krouticího momentu [-]	Hřídel s drážkou pro těsné pero

### 6.2.8 Potřebný průtok pro hydrogenerátor

Z výše volených požadavků a také z parametrů zvoleného kyvného hydromotoru je vyjádřen potřebný průtok pro hydrogenerátor, který bude tento hydromotor pohánět. Potřebný průtok je vyjádřen vztahem:

$$Q_{HG1} = \frac{V_{HM1}}{t_{HM1}} = \frac{0,037}{\frac{1}{7}} = 0,259 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \quad (12)$$

Kde:  $V_{HM1}$  – Objem kapaliny potřebný na jednu otáčku kyvného hydromotoru [l]

$t_{HM1}$  – Čas potřebný k jedné otáčce kyvného hydromotoru [min]

### 6.3 Kontrola pohonu pro šířkovou přestavitelnost rámu manipulačního zařízení

K tomuto účelu je využíván přímočarý hydromotor. Který je uchycen ke konstrukci manipulátoru, tak aby umožňoval posuvný pohyb jednoho z ramen.

Pro tuto funkci byl zvolen přímočarý hydromotor od společnosti Parker s označením 25 C P HMI M N 2 1 M 425.00 M 1 1 0 0. Parametry hydromotoru jsou uvedeny v tabulce (Tab 23).

Tab 23) Parametry hydromotoru 25 C P HMI M N 2 1 M 425.00 M 1 1 0 0 [16]

Parametr	Hodnota, možnost
Maximální pracovní tlak [MPa]	21
Průměr pístu [mm]	25
Průměr pístnice [mm]	18
Zdvih [mm]	425
Možnost uchycení	Spodní strana, šrouby

### 6.3.1 Síla od přímočarého hydromotoru

Od přímočarého hydromotoru, který má sloužit k výše popsanému účelu je vyžadována upínací síla, což bylo zmiňováno již dříve (*kap. 6.1*). Tato síla má hodnotu:

$$F_{HM2} = 1350 \text{ N} \quad (13)$$

### 6.3.2 Kontrola pístnice na vzpěr

Jelikož je pístnice namáhána zatěžující silou hlavně tahem, není ji potřebné kontrolovat na vzpěr. Avšak kdyby došlo na zatěžování pístnice tlakovým namáháním, tak dle katalogu výrobce je možné při daném průměru pístnice  $d_{HM2}=18 \text{ mm}$  a zdvihu  $z_{HM2}=425 \text{ mm}$  zatěžovat přímočarý hydromotor silou až přibližně 10 kN bez toho aniž by došlo k deformaci pístnice nebo k jejímu jinému poškození.

### 6.3.3 Plocha pístu

$$S_{DHM2} = \frac{\pi \cdot D_{HM2}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 25^2}{4} = 490,8739 \text{ mm}^2 \quad (14)$$

Kde:  $\pi$  – Ludolfovo číslo [–]

$D_{HM2}$  – Průměr pístu přímočarého hydromotoru [mm]

### 6.3.4 Plocha pístnice

$$S_{dHM2} = \frac{\pi \cdot d_{HM2}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 18^2}{4} = 254,469 \text{ mm}^2 \quad (15)$$

Kde:  $\pi$  – Ludolfovo číslo [–]

$d_{HM2}$  – Průměr pístnice přímočarého hydromotoru [mm]

### 6.3.5 Potřebný pracovní tlak pro zasunutí pístnice

$$p_{zHM2} = \frac{F_{HM2}}{S_{DHM2} - S_{dHM2}} = \frac{1350}{490,8739 - 254,469} = 5,7105 \text{ MPa} \quad (16)$$

Kde:  $F_{HM2}$  – Síla od přímočarého hydromotoru [N]

$S_{DHM2}$  – Plocha pístu přímočarého hydromotoru [mm<sup>2</sup>]

$S_{dHM2}$  – Plocha pístnice přímočarého hydromotoru [mm<sup>2</sup>]

### 6.3.6 Potřebný pracovní tlak pro vysunutí pístnice

$$p_{vHM2} = \frac{F_{HM2}}{S_{DHM2}} = \frac{1350}{490,8739} = 2,7502 \text{ MPa} \quad (17)$$

Kde:  $F_{HM2}$  – Síla od přímočarého hydromotoru [N]

$S_{DHM2}$  – Plocha pístu přímočarého hydromotoru [mm<sup>2</sup>]

### 6.3.7 Objem kapaliny pro úplné zasunutí pístnice

$$V_{zHM2} = \left( \frac{\pi \cdot D_{HM2}^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_{HM2}^2}{4} \right) \cdot z_{HM2} =$$
$$= \left( \frac{\pi \cdot 0,25^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,18^2}{4} \right) \cdot 4,25 = 0,1005 \text{ l} \quad (18)$$

Kde:  $\pi$  – Ludolfovo číslo [–]

$D_{HM2}$  – Průměr pístu přímočarého hydromotoru [dm]

$d_{HM2}$  – Průměr pístnice přímočarého hydromotoru [dm]

$z_{HM2}$  – Zdvih přímočarého hydromotoru [dm]

### 6.3.8 Objem kapaliny pro úplné vysunutí pístnice

$$V_{vHM2} = \left( \frac{\pi \cdot D_{HM2}^2}{4} \right) \cdot z_{HM2} = \left( \frac{\pi \cdot 0,25^2}{4} \right) \cdot 4,25 = 0,2086 \text{ l} \quad (19)$$

Kde:  $\pi$  – Ludolfovo číslo [–]

$D_{HM2}$  – Průměr pístu přímočarého hydromotoru [dm]

$z_{HM2}$  – Zdvih přímočarého hydromotoru [dm]

### 6.3.9 Potřebný průtok pro hydrogenerátor

Úplné zasunutí či vysunutí pístnice přímočarého hydromotoru je vyžadováno za určitý časový úsek, proto je vyjádřen potřebný průtok pro hydrogenerátor, který bude tento hydromotor pohánět. Hodnota průtoku bude rozdílná pro vysunování a pro zasunování pístnice. Potřebné průtoky jsou vyjádřeny vztahy:

Průtok pro úplné zasunutí pístnice

$$Q_{zHG2} = \frac{V_{zHM2}}{t_{HM2}} = \frac{0,1005}{0,5} = 0,201 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \quad (20)$$

Kde:  $V_{zHM2}$  – Objem kapaliny potřebný pro úplné zasunutí pístnice přímočarého hydromotoru [l]

$t_{HM2}$  – Čas potřebný k úplnému zasunutí či vysunutí pístnice přímočarého hydromotoru [min]

Průtok pro úplné vysunutí pístnice

$$Q_{vHG2} = \frac{V_{vHM2}}{t_{HM2}} = \frac{0,2086}{0,5} = 0,4172 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \quad (21)$$

Kde:  $V_{vHM2}$  – Objem kapaliny potřebný pro úplné vysunutí pístnice přímočarého hydromotoru [l]

$t_{HM2}$  – Čas potřebný k úplnému zasunutí či vysunutí pístnice přímočarého hydromotoru [min]



### 6.3.10 Rychlost vysunování či zasunování pístnice

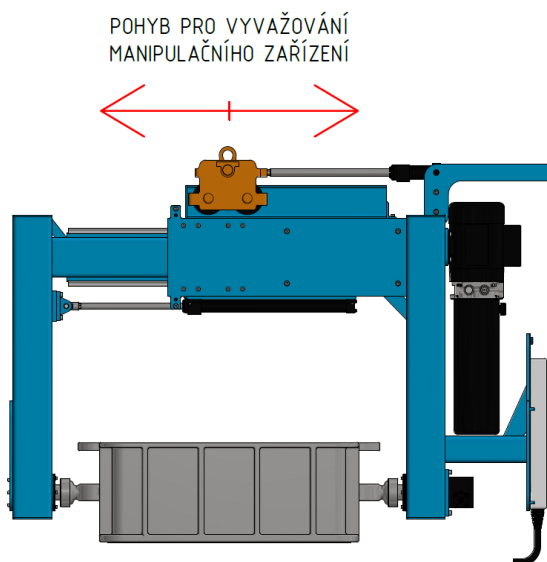
$$v_{HM2} = \frac{z_{HM2}}{t_{HM2}} = \frac{0,425}{0,5} = 0,85 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \quad (22)$$

Kde:  $z_{HM2}$  – Zdvih přímočarého hydromotoru [m]

$t_{HM2}$  – Čas potřebný k úplnému zasunutí či vysunutí pístnice přímočarého hydromotoru [min]

## 6.4 Kontrola pohonu pro pohyb pojezdové kočky

Pro vyvažování při upínání různě širokých formovacích rámců nebo neideálně vyvážených forem, byl zvolen přístup, že po nosníku, který je přivařen k horní části konstrukce manipulačního zařízení, bude pojíždět jeřábová kočka (Obr. 62). Tato kočka bude přestavována pomocí přímočarého hydromotoru.



Obr. 62) Pohyb pojezdové kočky pro vyvažování manipulačního zařízení

Byla zvolena pojezdová kočka, jejíž typové označení je Rema 211-1,0-55/135. Tato pojezdová kočka má udávanou nosnost 1 tunu [18], což při zohlednění hmotnosti manipulačního zařízení včetně upnuté formy (uvedeno níže *kap 6.4.1*) je plně dostačující.

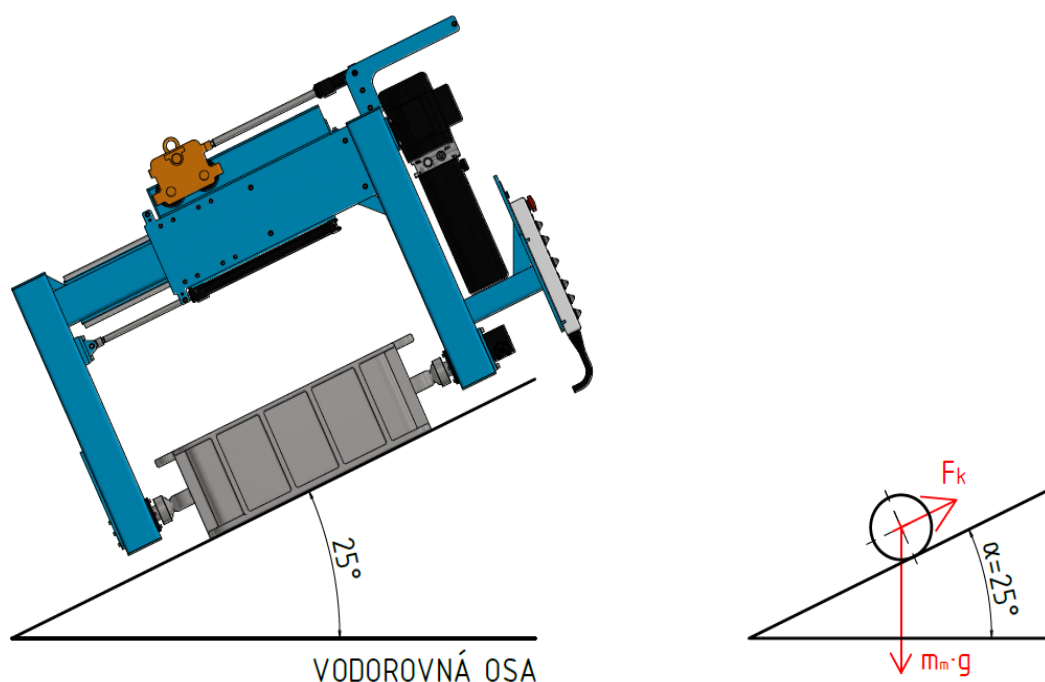
Pro funkci přestavování byl zvolen přímočarý hydromotor od společnosti Parker s označením 32 DD HMI M N 2 1 M 365.00 M 1 1 0 0. Parametry hydromotoru jsou uvedeny v tabulce (Tab 24).

Tab 24) Parametry hydromotoru 32 DD HMI M N 2 1 M 365.00 M 1 1 0 0 [16]

Parametr	Hodnota, možnost
Maximální pracovní tlak [MPa]	21
Průměr pístu [mm]	32
Průměr pístnice [mm]	22
Zdvih [mm]	365
Možnost uchycení	Boční strana, čepy

#### 6.4.1 Síla přímočarého hydromotoru

Pro výpočet síly potřebné k přestavení polohy pojezdové kočky je zohledněna celková hmotnost manipulačního zařízení i s upnutou nejtěžší formou, celková hmotnost je cca 585 kg, ve výpočtu bude však kvůli dimenzování pohonu počítáno s hmotností  $m_m=685$  kg. Další skutečností, která je při návrhu zohledněna je možné naklonění manipulátor při upnutí nevyváženého břemene nebo při upnutí v okamžiku kdy není pojezdová kočka v ideální pozici, je počítáno s maximálním nakloněním manipulátoru o úhel  $\alpha=25^\circ$  (Obr. 63). Při výpočtu je zanedbáván odpor proti valení a čepové tření, jelikož se jedná o valení ocelových kol po ocelovém nosníku, dá se předpokládat, že hodnoty valivého odporu nebudou nijak velké. Kola pojezdové kočky jsou uložena v ložiscích, takže se předpokládá, že hodnota odporu způsobeného čepovým třením bude také zanedbatelná. Navíc celý výpočet je naddimenzován na hmotnost cca o 100 kg vyšší, což bylo zmíněno již výše.



Obr. 63) Naklonění manipulačního zařízení

Síla potřebná k pohybu jednoho kola pojezdové kočky

$$F_K = \frac{m_m \cdot g}{4} \cdot \sin \alpha = \frac{685 \cdot 9,81}{4} \cdot \sin 25^\circ = 709,9828 \text{ N} \quad (23)$$

Kde:  $m_m$  – Celková hmotnost manipulačního zařízení [kg]

$g$  – Tíhové zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

$\alpha$  – Maximální úhel naklonění manipulačního zařízení [ $^\circ$ ]

Síla potřebná k pohybu pojezdové kočky (4 kola), síla od přímočarého hydromotoru

$$F_{HM3} = 4 \cdot F_K = 4 \cdot 709,9828 = 2839,9312 \text{ N} \quad (24)$$

Kde:  $F_K$  – Síla potřebná k pohybu jednoho kola pojezdové [kg]

#### 6.4.2 Kontrola pístnice na vzpěr

Při zatěžování pístnice tlakovým namáháním je možné dle katalogu při daném průměru pístnice  $d_{HM3}=22$  mm a zdvihu  $z_{HM3}=365$  mm zatěžovat přímočarý hydromotor silou až přibližně 30 kN bez toho aniž by došlo k deformaci pístnice nebo k jejímu jinému poškození.

#### 6.4.3 Plocha pístu

$$S_{D_{HM3}} = \frac{\pi \cdot D_{HM3}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 32^2}{4} = 804,2477 \text{ mm}^2 \quad (25)$$

Kde:  $\pi$  – Ludolfovo číslo [–]

$D_{HM3}$  – Průměr pístu přímočarého hydromotoru [mm]

#### 6.4.4 Plocha pístnice

$$S_{d_{HM3}} = \frac{\pi \cdot d_{HM3}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 22^2}{4} = 380,1327 \text{ mm}^2 \quad (26)$$

Kde:  $\pi$  – Ludolfovo číslo [–]

$d_{HM3}$  – Průměr pístnice přímočarého hydromotoru [mm]

#### 6.4.5 Potřebný pracovní tlak pro zasunutí pístnice

$$p_{z_{HM3}} = \frac{F_{HM3}}{S_{D_{HM3}} - S_{d_{HM3}}} = \frac{2839,9312}{804,2477 - 380,1327} = 6,6961 \text{ MPa} \quad (27)$$

Kde:  $F_{HM3}$  – Síla od přímočarého hydromotoru [N]

$S_{D_{HM3}}$  – Plocha pístu přímočarého hydromotoru [mm<sup>2</sup>]

$S_{d_{HM3}}$  – Plocha pístnice přímočarého hydromotoru [mm<sup>2</sup>]

#### 6.4.6 Potřebný pracovní tlak pro vysunutí pístnice

$$p_{v_{HM3}} = \frac{F_{HM3}}{S_{D_{HM3}}} = \frac{2839,9312}{804,2477} = 3,5312 \text{ MPa} \quad (28)$$

Kde:  $F_{HM3}$  – Síla od přímočarého hydromotoru [N]

$S_{D_{HM3}}$  – Plocha pístu přímočarého hydromotoru [mm<sup>2</sup>]

#### 6.4.7 Objem kapaliny pro úplné zasunutí pístnice

$$\begin{aligned} V_{z_{HM3}} &= \left( \frac{\pi \cdot D_{HM3}^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_{HM3}^2}{4} \right) \cdot z_{HM3} = \\ &= \left( \frac{\pi \cdot 0,32^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,22^2}{4} \right) \cdot 3,65 = 0,1548 \text{ l} \end{aligned} \quad (29)$$

Kde:  $\pi$  – Ludolfovo číslo [–]

$D_{HM3}$  – Průměr pístu přímočarého hydromotoru [dm]

$d_{HM3}$  – Průměr pístnice přímočarého hydromotoru [dm]

$z_{HM3}$  – Zdvih přímočarého hydromotoru [dm]

#### 6.4.8 Objem kapaliny pro úplné vysunutí pístnice

$$V_{vHM3} = \left( \frac{\pi \cdot D_{HM3}^2}{4} \right) \cdot z_{HM3} = \left( \frac{\pi \cdot 0,32^2}{4} \right) \cdot 3,65 = 0,2936 \text{ l} \quad (30)$$

Kde:  $\pi$  – Ludolfovo číslo [–]

$D_{HM3}$  – Průměr pístu přímočarého hydromotoru [dm]

$z_{HM3}$  – Zdvih přímočarého hydromotoru [dm]

#### 6.4.9 Potřebný průtok pro hydrogenerátor

Úplné zasunutí či vysunutí pístnice přímočarého hydromotoru je vyžadováno za určitý časový úsek, proto je vyjádřen potřebný průtok pro hydrogenerátor, který bude tento hydromotor pohánět. Hodnota průtoku bude rozdílná pro vysunování a pro zasunování pístnice. Potřebné průtoky jsou vyjádřeny vztahy:

Průtok pro úplné zasunutí pístnice

$$Q_{zHG3} = \frac{V_{zHM3}}{t_{HM3}} = \frac{0,1548}{0,5} = 0,3096 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \quad (31)$$

Kde:  $V_{zHM3}$  – Objem kapaliny potřebný pro úplné zasunutí pístnice přímočarého hydromotoru [l]

$t_{HM3}$  – Čas potřebný k úplnému zasunutí či vysunutí pístnice přímočarého hydromotoru [min]

Průtok pro úplné zasunutí pístnice

$$Q_{vHG3} = \frac{V_{vHM3}}{t_{HM3}} = \frac{0,2936}{0,5} = 0,5872 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \quad (32)$$

Kde:  $V_{vHM3}$  – Objem kapaliny potřebný pro úplné vysunutí pístnice přímočarého hydromotoru [l]

$t_{HM3}$  – Čas potřebný k úplnému zasunutí či vysunutí pístnice přímočarého hydromotoru [min]

### 6.5 Volba hydraulického agregátu

Hydraulický agregát se sestává z elektromotoru, zásobníku hydraulické kapaliny, filtru, pojistného ventilu a zpětného ventilu.

Při volbě se vychází ze skutečnosti, že žádná dvojice hydromotorů nebude v chodu v jeden okamžik. Takový chod neumožňuje ani ovládací panel manipulačního zařízení. Je tedy nahlíženo na to, že v jeden okamžik pracuje pouze jeden z hydromotorů, které jsou umístěny na konstrukci manipulačního zařízení.

#### 6.5.1 Porovnání pracovních tlaků a průtoků

Je nutno porovnat všechny tlaky a průtoky, které potřebují jednotlivé hydromotory pro svou funkci a podle toho zvolit vhodný hydraulický agregát. Pracovní tlaky a průtoky jednotlivých hydromotorů jsou uvedeny v tabulce níže (Tab 25).

Tab 25) Pracovní tlaky a průtoky jednotlivých hydromotorů

Hydromotor		Pracovní tlak [MPa]	Objemový průtok [ $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ ]
Kyvný hydromotor HTR .9 - 3603C - CA61 - A		6,9	0,259
Přímočarý hydromotor 25 C P HMI M N 2 1 M 425.00 M 1 1 0 0	Zasunování pístnice	5,7105	0,201
	Vysunování pístnice	2,7502	0,4175
Přímočarý hydromotor 32 DD HMI M N 2 1 M 365.00 M 1 1 0 0	Zasunování pístnice	6,6961	0,3096
	Vysunování pístnice	3,5312	0,5872

### 6.5.2 Výběr konkrétního hydraulického agregátu

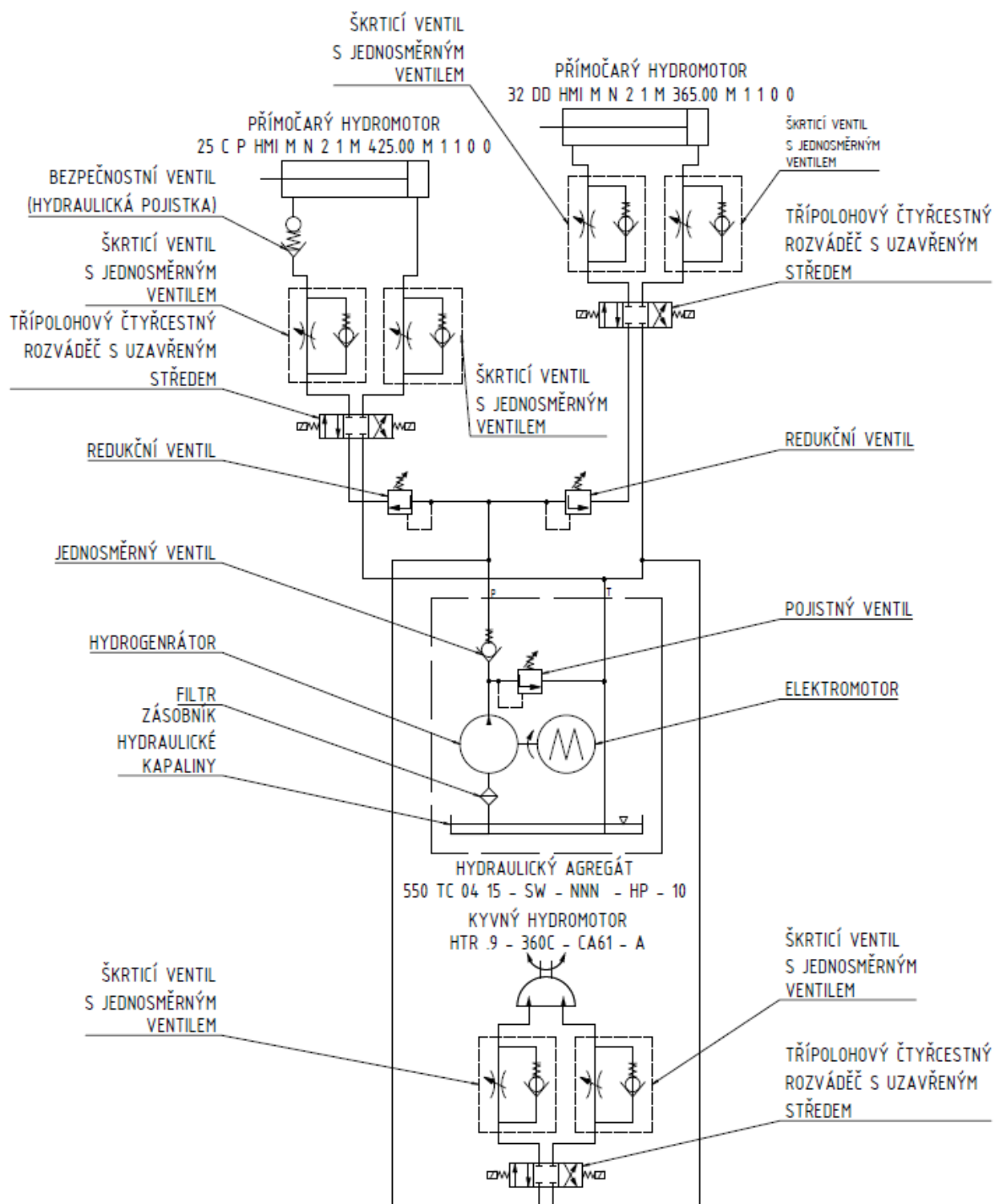
Vzhledem ke skutečnostem uvedeným výše a s ohledem na nejvyšší pracovní tlaky a objemové průtoky v hydraulickém obvodu byl zvolen hydraulický agregát od společnosti Parker s typovým označením 550 TC 04 15 - SW - NNN - HP - 10. Jeho základní parametry jsou uvedeny v tabulce níže (Tab 26).

Tab 26) Parametry hydraulického agregátu 550 TC 04 15 - SW - NNN - HP - 10 [17]

Parametr	Hodnota
Výkon elektromotoru [W]	380
Otáčky hřídele elektromotoru [ $\text{min}^{-1}$ ]	1725
Pracovní tlak [MPa]	6,9
Objemový průtok [ $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	0,9
Objem nádržky [l]	6

## 6.6 Schéma hydraulického obvodu

Hydraulický obvod je sestaven z komponent, které se nachází na konstrukci manipulačního zařízení a zaručují jeho funkci. Tyto komponenty byly v předchozích kapitolách navrhovány nebo kontrolovány zda dokážou plnit bezproblémově funkce, které se od manipulátoru očekávají. Pro přehlednost byly všechny hydraulické komponenty zakresleny do schématu hydraulického obvodu. Mezi tyto komponenty (prvky) tedy patří hydraulický agregát, dva přímočaré hydromotory, kyvný hydromotor a několik prvků, které zajišťují řízení pracovního tlaku či objemového průtoku v hydraulickém obvodu, nebo směr pohybu hydromotorů (Obr. 64).



Obr. 64) Hydraulické schéma

Mezi prvky, které slouží k řízení pracovních tlaků v hydraulickém obvodu, patří prvky, jako je pojistný ventil, který nastavuje výstupní tlak z hydrogenerátoru na hodnotu 6,9 MPa a chrání obvod jako celek proti přetížení způsobeným tlakem. Dalšími prvky nastavující hodnotu pracovních tlaků jsou redukční ventily, které slouží k nastavení pracovních tlaků pro přímočaré hydromotory.

Mezi prvky, které slouží k řízení objemového průtoku pro jednotlivé hydromotory, patří prvky, jako jsou škrticí, které se používají v kombinaci s jednosměrným ventilem.

Třípolohové čtyřcestné rozváděče plní v hydraulickém obvodu funkci přepínání cest, kterými proudí hydraulická kapalina do hydromotoru, a tím zaručují řízení směru přímočarého nebo kyvného pohybu daného hydromotoru. Při využití střední polohy (označována jako uzavřený střed) na rozváděči, plní rozváděč funkci hydraulického zámku a tedy slouží k zajištění hydromotoru v požadované poloze (vysunutí nebo natočení).

Dále je v hydraulickém obvodu umístěn bezpečnostní ventil (tzv. hydraulická pojistka), která se automaticky uzavírá při překročení velikosti tlakového spádu v důsledku vysokého průtoku kapaliny. K takovému jevu může dojít například při roztržení hydraulické hadice. Bezpečnostní ventil je zařazen k přímočarému hydromotoru, který zajišťuje držení upnutého formovacího rámu, a zajišťuje tak bezpečnost proti možnému pádu břemene. K takové situaci by mohlo například dojít, kdyby byl manipulátor nakloněn důsledkem nevyváženosti (*Obr. 63*) a ve stejném okamžiku by došlo právě k prasknutí hadice, která do válce přivádí hydraulickou kapalinu. V takovém případě by mohlo dojít k samovolnému vysunutí ramene a pádu formovacího rámu. Této situaci ale umožňuje předcházet právě bezpečnostní ventil.

## 6.7 Návrh a kontrola hřídele

Funkce hřídele spočívá v přenosu krouticího momentu od kyvného hydromotoru k formovacímu rámu, čímž se zajišťuje jeho otáčení podél vodorovné osy.

Vzhledem k tomu, že ke hřídeli je přivařena upínací část čepu formovacího rámu, je hřídel vyrobena z oceli C16E (12 020). Je to konstrukční ocel, se zaručenou tavnou svařitelností. Používá se pro čepy, ozubená a řetězová kola, příruby, rohatky, západky, vačkové hřídele, lisované součásti [7].

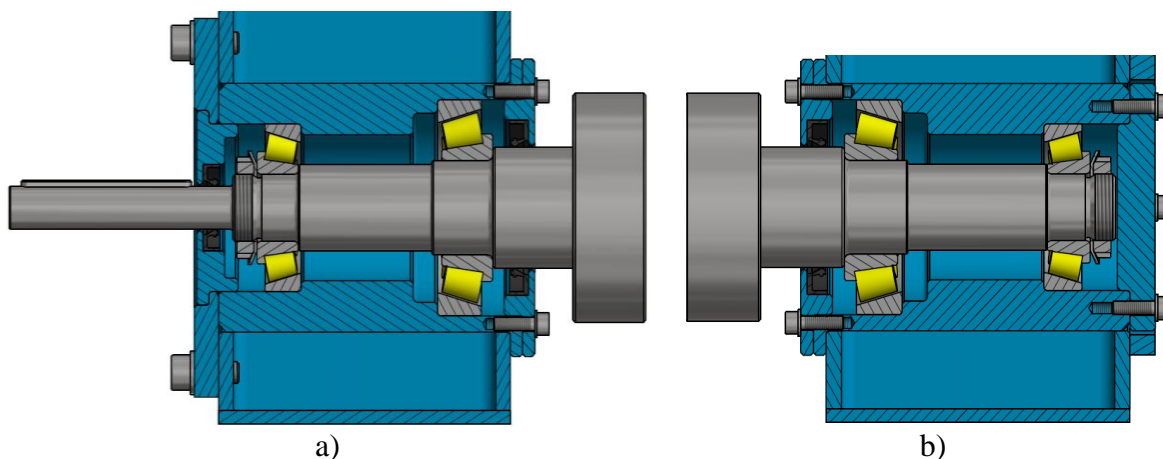
Při výpočtu je zohledněno, že hřídel je namáhána střídavým ohybem a střídavým krutem. Kontrola hřídele je provedena v tzv. kritických místech, což jsou místa, v nichž je tzv. vrub. Výskyt vrubu způsobuje koncentraci napětí. Tyto místa jsou kontrolována na statickou a dynamickou bezpečnost. Kontrola hřídele je provedena dle literatury [8].

### 6.7.1 Volba průměrů hřídele

Výstupní konec hřídele má hodnotu průměru 16 mm, což je dáno průměrem náboje zvoleného kyvného hydromotoru. Další odstupňování hřídele je takové, že pod ložiskem B je průměr  $d_1=25$  mm a pod ložiskem  $d_3=35$  mm, toto je patrné i z obrázku (*Obr. 69*).

### 6.7.2 Uložení hřídele a volba ložisek

Hřídel je uložena ve dvou ložiskách, která jsou uložena v tzv. pouzdru, to je přivařeno k ramenu manipulátoru. Z každé strany je pouzdro uzavřeno zátkou nebo zátkou s hřídelovým těsnicím kroužkem tak, aby se hřídel mohla otáčet, ale k ložiskům se nedostala nečistota. Uložení obou hřídelí ukazují obrázky (*Obr. 65 a*) a (*Obr. 65 b*).



Obr. 65) a) Uložení první hřídele, b) Uložení druhé hřídele

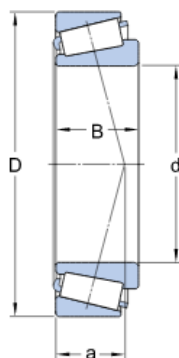
Vzhledem k tomu, že hřídel je zatěžována v axiálním i radiálním směru (*Obr. 67*) jsou pro její uložení zvolena kuželíková ložiska, která jsou na hřídel montovány zády k sobě (tzv. do „O“). Podle zvoleného uložení a podle směru síly působení axiálního zatížení je následně počítáno axiální zatížení hřídele v místech, kde je hřídel do ložisek uložena. Ložiska jsou na hřídeli proti posunutí zajištěna osazeními na hřídeli a v pouzdru a také KM maticí s MB podložkou.

Pro výše popsané uložení byly zvoleny ložiska od společnosti SKF s typovým označením 30305 a 30307. Jejich parametry jsou uvedeny v tabulce (*Tab 27*) a na obrázku (*Obr. 66*).

Tab 27) Parametry ložisek 30305 a 30307 od společnosti SKF [74], [82]

Název parametru a označení parametru	Ložisko 30307 (Ložisko A)	Ložisko 30305 (Ložisko B)
Vnitřní průměr ložiska - d [mm]	35	25
Vnější průměr ložiska - D [mm]	80	62
Šířka ložiska - B [mm]	21	17
Posunutí středu působení sil na ložisku - a [mm]	16,181	12,779
Základní dynamická únosnost - $C_r$ [kN]	88,9	55,3
Základní statická únosnost - $C_0$ [kN]	73,5	43
Výpočtový (porovnávací) koeficient - e [-]	0,31	0,3
Koeficient radiálního dynamického zatížení - X [-]	0,4	0,4
Koeficient axiálního dynamického zatížení - Y [-]	1,9	2



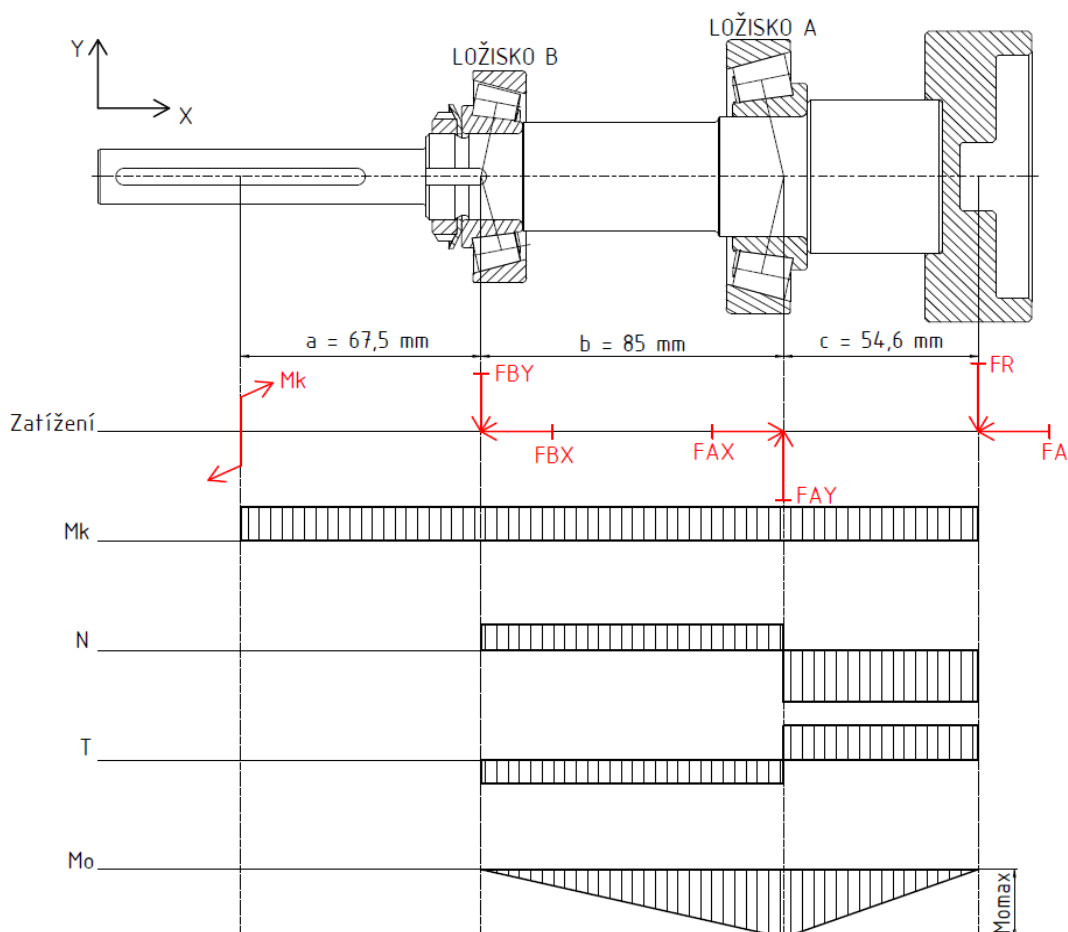


Obr. 66) Rozměrové parametry ložiska [74]

### 6.7.3 Zatížení hřídele

Hřídel je zatížena na jednom konci krouticím momentem  $M_k$ , jež je přenášen na hřídel pomocí těsného pera od kyvného hydromotoru. Na druhém konci je hřídel zatížena silou  $F_R$ , která vzniká vlivem gravitačního působení na formovací rám naplněný slévárenskou formovací směsí. Síly  $F_{AX}$ ,  $F_{AY}$  a  $F_{BX}$ ,  $F_{BY}$  jsou reakční síly, které vznikají v ložiskách (Obr. 67).

### 6.7.4 Výpočet reakčních sil v ložiskách



Obr. 67) Průběh výsledných vnitřních účinků na hřídeli

Podmínky silové a momentové rovnováhy

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ -F_{BX} + F_{AX} - F_A &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \\ -F_{BY} + F_{AY} - F_R &= 0 \\ \sum M_o &= 0 \text{ k ložisku B} \\ -F_{AY} \cdot b + F_R \cdot (b + c) &= 0\end{aligned}$$

Radiální zatěžující síla hřídele:

$$F_R = \frac{m_{FR} \cdot g}{2} = \frac{400 \cdot 9,81}{2} = 1962 \text{ N} \quad (33)$$

Kde:  $m_{FR}$  – Hmotnost formovacího rámu naplněného slévarenským pískem [kg]  
 $g$  – Tíhové zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

Radiální reakční síla v ložisku A

$$F_{AY} = \frac{F_R \cdot (b + c)}{b} = \frac{1962 \cdot (0,085 + 0,0546)}{0,085} = 3222,2965 \text{ N} \quad (34)$$

Kde:  $F_R$  – Radiální zatěžující síla hřídele [N]  
 $b$  – Vzdálenost mezi ložisky A a B [m]  
 $c$  – Vzdálenost mezi ložiskem A a upínací částí čepu formovacího rámu [m]

Radiální reakční síla v ložisku B

$$F_{BY} = F_{AY} - F_R = 3222,2965 - 1962 = 1260,2965 \text{ N} \quad (35)$$

Kde:  $F_{AY}$  – Radiální reakční síla v ložisku A [N]  
 $F_R$  – Radiální zatěžující síla hřídele [N]

Axiální reakční síla v ložisku B

$$F_{BX} = \frac{0,5 \cdot F_{BY}}{Y_B} = \frac{0,5 \cdot 1260,2965}{2} = 315,0741 \text{ N} \quad (36)$$

Kde:  $F_{BY}$  – Radiální reakční síla v ložisku B [N]  
 $Y_B$  – Koeficeient axiálního dynamického zatížení pro ložisko B [–]

Axiální reakční síla v ložisku A

$$F_{AX} = F_{BX} + F_A = 315,0741 + 1350 = 1665,0741 \text{ N} \quad (37)$$

Kde:  $F_{BX}$  – Axiální reakční síla v ložisku B [N]  
 $F_A$  – Axiální zatěžující síla hřídele [N]

### Maximální ohybový moment

$$M_{omax} = F_R \cdot c = 1962 \cdot 0,0546 = 107,1252 \text{ Nm} \quad (38)$$

Kde:  $F_R$  – Radiální zatěžující síla hřídele [N]

$c$  – Vzdálenost mezi ložiskem A a upínací částí čepu formovacího rámu [mm]

### **6.7.5 Kontrola výstupního konce hřídele na střídavý krut**

Výstupní konec hřídele je namáhán pouze střídavým krutem, v tomto místě na hřídel nepůsobí žádný ohybový moment.

### Modul průřezu v krutu

$$W_{kv} = \frac{\pi \cdot d_v^3}{16} - \frac{b_p \cdot t_p \cdot (d_v - t_p)^2}{2 \cdot d_v} = \frac{\pi \cdot 16^3}{16} - \frac{5 \cdot 2,9 \cdot (16 - 2,9)^2}{2 \cdot 16} = 726,4869 \text{ mm}^3 \quad (39)$$

Kde:  $\pi$  – Ludolfovo číslo [–]

$d_v$  – Průměr výstupního konce hřídele [mm]

$b_p$  – Šířka drážky pro pero [mm], dle literatury [7]

$t_p$  – Hloubka drážky pro pero v hřídeli [mm], dle literatury [7]

### Napětí v krutu v místě drážky pro pero

$$\tau_{kv} = \frac{1000 \cdot M_k}{W_{kv}} = \frac{1000 \cdot 34}{726,4869} = 46,8006 \text{ MPa} \quad (40)$$

Kde:  $M_k$  – Krouticí moment přenášený hřídelí [Nm]

$W_{kv}$  – Modul průřezu v krutu v místě drážky pro pero [mm]

### Střední hodnota smykového napětí

Pro střídavý krut je zvoleno:

$$\tau_{mv} = 0 \text{ MPa} \quad (41)$$

### Amplituda smykového napětí

$$\tau_{av} = \tau_{kv} = 46,8006 \text{ MPa} \quad (42)$$

Kde:  $\tau_{kv}$  – Napětí v krutu v místě drážky pro pero [MPa]

### Dynamická bezpečnost v krutu

$$k_{\tau v} = \frac{\tau_{ck}}{\frac{\beta_{\tau v}}{\nu_{\tau v} \cdot \varepsilon_{pv}} \cdot \tau_{av} + \psi_{\tau v} \cdot \tau_{mv}} = \frac{155}{\frac{1,37}{0,94 \cdot 0,91} \cdot 46,8006 + 0,01 \cdot 0} = 2,0679 \quad (43)$$

Kde:  $\tau_{ck}$  – Mez únavy v krutu pro materiál hřídele [MPa]

$\tau_{av}$  – Amplituda smykového napětí v místě drážky pro pero [MPa]

$\tau_{mv}$  – Střední hodnota smykového napětí v místě drážky pro pero [MPa]

$\beta_{\tau v}$  – Vrubový součinitel pro vrub v místě drážky pro pero [–], dle literatury [8]

$v_{tv}$  – Součinitel velikosti v místě drážky pro pero [–], dle literatury [8]

$\varepsilon_{pv}$  – Součinitel jakosti povrchu v místě drážky pro pero [–], dle literatury [8]

$\psi_{tv}$  – Součinitel citlivosti materiálu na nesouměrnost cyklu v místě drážky pro pero [–], dle literatury [8]

#### Bezpečnost vůči plastickým deformacím

$$k'_{tv} = \frac{R_{es}}{\tau_{kv}} = \frac{195}{46,8006} = 4,1666 \quad (44)$$

Kde:  $R_{es}$  – Mez kluzu ve smyku pro materiál hřídele [MPa], dle literatury [8]

$\tau_{kv}$  – Napětí v krutu v místě drážky pro pero [MPa]

#### Srovnání bezpečností

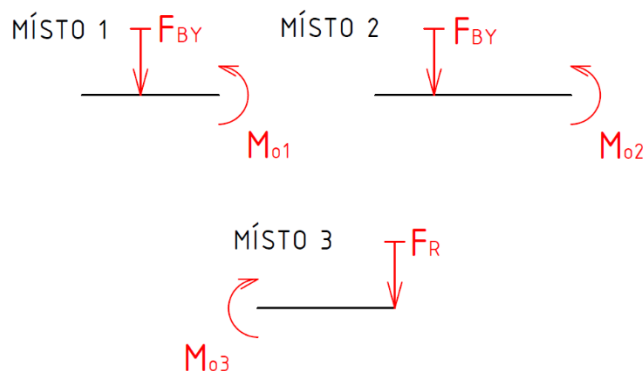
$$k'_{tv} > k_{tv} \rightarrow 4,166 > 2,0679 \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (45)$$

Kde:  $k'_{tv}$  – Bezpečnost vůči plastickým deformacím v místě drážky pro pero [–]

$k_{tv}$  – Dynamická bezpečnost v krutu v místě drážky pro pero [–]

### 6.7.6 Ohybové momenty v kritických místech

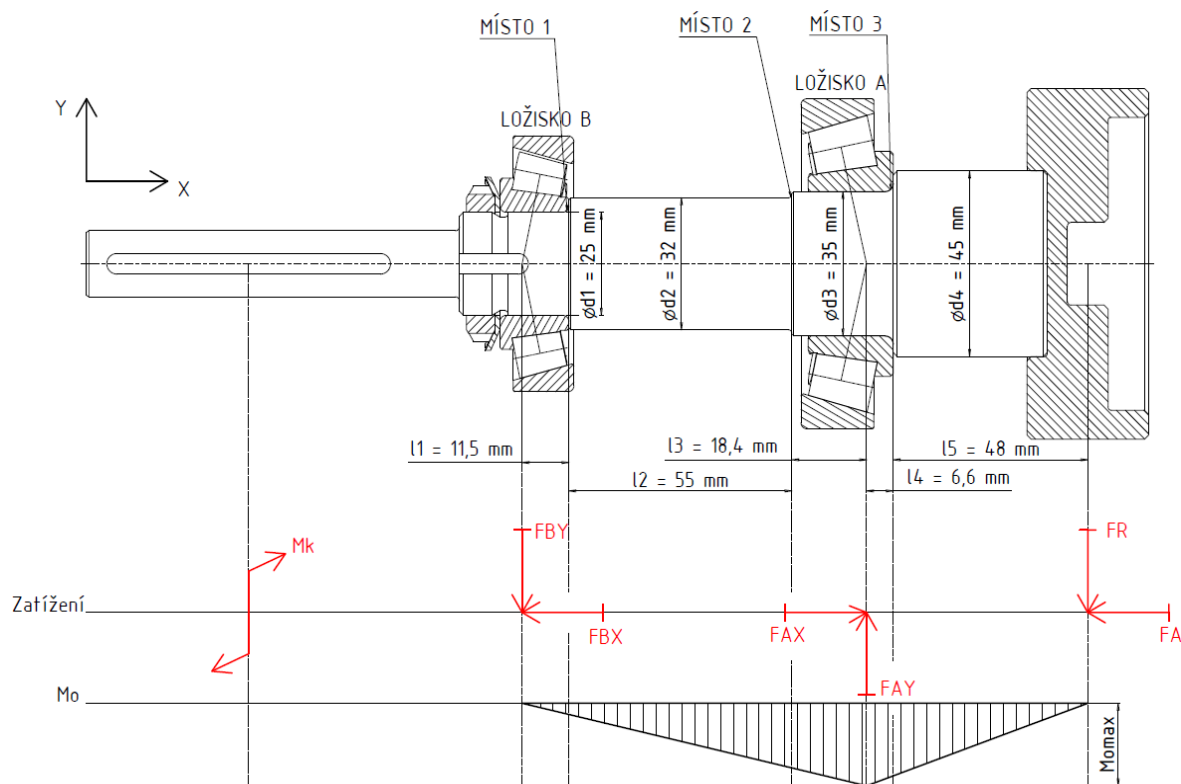
Pro zjištění ohybových momentů v kritických místech byly v těchto místech vytvořeny tzv. myšlené řezy, pomocí nichž byly vyčísleny velikosti těchto ohybových momentů. Znázornění myšlených řezů vystihuje obrázek (Obr. 68).



Obr. 68) Myšlené řezy hřídele

### 6.7.7 Výpočet ohybových momentů v kritických místech

Na hřídeli jsou celkem tři kritická místa, která jsou namáhána zároveň krouticím a ohybovým momentem. Jelikož v těchto místech nebo v jejich blízkosti hrozí vznik poškození hřídele, je třeba tyto místa kontrolovat.



Obr. 69) Průběh ohybového momentu v kritických místech hřídele

#### Místo 1

$$M_{o1} = F_{BY} \cdot l_1 = 1260,2965 \cdot 0,0115 = 14,4934 \text{ Nm} \quad (46)$$

Kde:  $F_{BY}$  – Radiální reakční síla v ložisku B [N]

$l_1$  – Vzdálenost na hřídeli [m]

#### Místo 2

$$M_{o2} = F_{BY} \cdot (l_1 + l_2) = 1260,2965 \cdot (0,0115 + 0,055) = 83,8097 \text{ Nm} \quad (47)$$

Kde:  $F_{BY}$  – Radiální reakční síla v ložisku B [N]

$l_1, l_2$  – Vzdálenosti na hřídeli [m]

#### Místo 3

$$M_{o3} = F_R \cdot l_5 = 1962 \cdot 0,048 = 94,176 \text{ Nm} \quad (48)$$

Kde:  $F_{BY}$  – Radiální reakční síla v ložisku B [N]

$l_5$  – Vzdálenost na hřídeli [m]

### 6.7.8 Kontrola hřídele v místě 1

#### Modul průřezu v ohybu

$$W_{o1} = \frac{\pi \cdot d_1^3}{32} = \frac{\pi \cdot 25^3}{32} = 1533,9808 \text{ mm}^3 \quad (49)$$

Kde:  $\pi$  – Ludolfovo číslo [–]

$d_1$  – Průměr hřídele v místě 1 [mm]

#### Modul průřezu v krutu

$$W_{k1} = \frac{\pi \cdot d_1^3}{16} = \frac{\pi \cdot 25^3}{16} = 3067,9616 \text{ mm}^3 \quad (50)$$

Kde:  $\pi$  – Ludolfovo číslo [–]

$d_1$  – Průměr hřídele v místě 1 [mm]

#### Napětí v ohybu

$$\sigma_{o1} = \frac{1000 \cdot M_{o1}}{W_{o1}} = \frac{1000 \cdot 14,4934}{1533,9808} = 9,4482 \text{ MPa} \quad (51)$$

Kde:  $M_{o1}$  – Ohybový moment v místě 1 [Nm]

$W_{o1}$  – Modul průřezu v ohybu v místě 1 [mm<sup>3</sup>]

#### Napětí v krutu

$$\tau_{k1} = \frac{1000 \cdot M_k}{W_{k1}} = \frac{1000 \cdot 34}{3067,9616} = 11,0823 \text{ MPa} \quad (52)$$

Kde:  $M_k$  – Krouticí moment přenášený hřídelí [Nm]

$W_{k1}$  – Modul průřezu v krutu v místě 1 [mm<sup>3</sup>]

#### Redukované napětí

$$\begin{aligned} \sigma_{red1} &= \sqrt{\sigma_{o1}^2 + 3 \cdot (\alpha_0 \cdot \tau_{k1})^2} = \sqrt{9,4482^2 + 3 \cdot (1 \cdot 11,0823)^2} \\ &= 21,3944 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (53)$$

Kde:  $\sigma_{o1}$  – Napětí v ohybu v místě 1 [MPa]

$\alpha_0$  – Opravný součinitel [–], dle literatury [8]

$\tau_{k1}$  – Napětí v krutu v místě 1 [MPa]

#### Bezpečnost proti trvalým deformacím

$$k_{s1} = \frac{R_e}{\sigma_{red1}} = \frac{300}{21,3944} = 14,0224 \quad (54)$$

Kde:  $R_e$  – Mez kluzu v tahu pro materiál hřídele [MPa], dle literatury [8]

$\sigma_{red1}$  – Redukované napětí v místě 1 [MPa]

### Střední hodnota normálového napětí

Pro střídavý ohyb je zvoleno:

$$\sigma_{m1} = 0 \text{ MPa} \quad (55)$$

### Amplituda normálového napětí

$$\sigma_{a1} = \sigma_{o1} = 9,4482 \text{ MPa} \quad (56)$$

Kde:  $\sigma_{o1}$  – Napětí v ohybu v místě 1 [MPa]

### Střední hodnota smykového napětí

Pro střídavý krut je zvoleno:

$$\tau_{m1} = 0 \text{ MPa} \quad (57)$$

### Amplituda smykového napětí

$$\tau_{a1} = \tau_{k1} = 11,0823 \text{ MPa} \quad (58)$$

Kde:  $\tau_{k1}$  – Napětí v krutu v místě 1 [MPa]

### Dynamická bezpečnost v ohybu

$$\begin{aligned}
 k_{\sigma 1} &= \frac{\sigma_{co}}{\frac{\beta_{\sigma 1}}{\nu_{\sigma 1} \cdot \varepsilon_{p1}} \cdot \sigma_{a1} + \psi_{\sigma 1} \cdot \sigma_{m1}} = \frac{245}{\frac{1,79}{0,93 \cdot 0,95} \cdot 9,4482 + 0,02 \cdot 0} = \\
 &= 12,7988
 \end{aligned} \quad (59)$$

Kde:  $\sigma_{co}$  – Mez únavy v ohybu pro materiál hřídele [MPa]

$\sigma_{a1}$  – Amplituda normálového v místě 1 [MPa]

$\sigma_{m1}$  – Střední hodnota normálového napětí v místě 1 [MPa]

$\beta_{\sigma 1}$  – Vrubový součinitel pro vrub v místě 1 [–], dle literatury [8]

$\nu_{\sigma 1}$  – Součinitel velikosti v místě 1 [–], dle literatury [8]

$\varepsilon_{p1}$  – Součinitel jakosti povrchu v místě 1 [–], dle literatury [8]

$\psi_{\sigma 1}$  – Součinitel citlivosti materiálu na nesouměrnost cyklu v místě 1 [–], dle literatury [8]

### Dynamická bezpečnost v krutu

$$\begin{aligned}
 k_{\tau 1} &= \frac{\tau_{ck}}{\frac{\beta_{\tau 1}}{\nu_{\tau 1} \cdot \varepsilon_{p1}} \cdot \tau_{a1} + \psi_{\tau 1} \cdot \tau_{m1}} = \frac{155}{\frac{1,39}{0,88 \cdot 0,95} \cdot 11,0823 + 0,01 \cdot 0} = \\
 &= 8,4119
 \end{aligned} \quad (60)$$

Kde:  $\tau_{ck}$  – Mez únavy v krutu pro materiál hřídele [MPa]

$\tau_{av}$  – Amplituda smykového napětí v místě drážky pro pero [MPa]

$\tau_{mv}$  – Střední hodnota smykového napětí v místě drážky pro pero [MPa]

$\beta_{\tau v}$  – Vrubový součinitel pro vrub v místě drážky pro pero [–], dle literatury [8]

$\nu_{\tau v}$  – Součinitel velikosti v místě drážky pro pero [–], dle literatury [8]

$\varepsilon_{pv}$  – Součinitel jakosti povrchu v místě drážky pro pero [–], dle literatury [8]

$\psi_{tv}$  – Součinitel citlivosti materiálu na nesouměrnost cyklu v místě drážky pro pero [–], dle literatury [8]

#### Bezpečnost vůči plastickým deformacím

$$k'_{\tau 1} = \frac{R_{es}}{\tau_{k1}} = \frac{195}{11,0823} = 17,5957 \quad (61)$$

Kde:  $R_{es}$  – Mez kluzu ve smyku pro materiál hřídele [MPa], dle literatury [8]

$\tau_{k1}$  – Napětí v krutu v místě 1 [MPa]

#### Srovnání bezpečností

$$k'_{\tau 1} > k_{\tau 1} \rightarrow 17,5957 > 8,4119 \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (62)$$

Kde:  $k'_{\tau 1}$  – Bezpečnost vůči plastickým deformacím v místě 1 [–]

$k_{\tau}$  – Dynamická bezpečnost v krutu v místě 1 [–]

#### Výsledná dynamická bezpečnost

$$k_{dyn1} = \frac{k_{\sigma 1} \cdot k_{\tau 1}}{\sqrt{k_{\sigma 1}^2 + k_{\tau 1}^2}} = \frac{12,7988 \cdot 8,4119}{\sqrt{12,7988^2 + 8,4119^2}} = 7,2956 \quad (63)$$

Kde:  $k_{\sigma 1}$  – Dynamická bezpečnost v ohybu v místě 1 [–]

$k_{\tau 1}$  – Dynamická bezpečnost v krutu v místě 1 [–]

#### Kontrola dovolené bezpečnosti

$$k_{dyn1} > k_{dyn,dov} \rightarrow 7,2956 > 1,5 \rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (64)$$

Kde:  $k_{dyn1}$  – Dynamická bezpečnost v ohybu v místě 1 [–]

$k_{dyn,dov}$  – Dovolená výsledná dynamická bezpečnost [–], dle literatury [8]

### **6.7.9 Kontrola hřídele v dalších kritických místech - 2, 3**

Vzhledem k tomu, že další kritická místa nacházející se na hřídeli (s označením 2 a 3), což ukazuje i obrázek (*Obr. 69*), jsou počítána stejným způsobem jako kritické místo s označením 1 a také z důvodu úspory místa jsou výsledky kontrol hřídele ve všech tzv. kritických místech uvedeny v tabulce (*Tab 28*). Detailní výpočet zmiňovaných míst a s tím i volba hodnot jednotlivých koeficientů je uveden v příloze (*Priloha\_2 - Vypocet\_Hridel*).



Tab 28) Výsledné hodnoty plynoucí z kontroly hřídele

Parametr	Místo 1	Místo 2	Místo 3
$d_*$ [mm]	25	32	35
$W_{0*}$ [mm <sup>3</sup> ]	1533,9808	3216,9909	4209,2433
$W_{k*}$ [mm <sup>3</sup> ]	3067,9616	6433,9818	8418,4866
$M_{0*}$ [Nm]	14,4934	83,097	94,176
$\sigma_{0*}$ [MPa]	9,4482	26,0522	22,3736
$\tau_{k*}$ [MPa]	11,0823	5,2844	4,0387
$\sigma_{red*}$ [MPa]	21,3944	27,6133	23,4417
$k_{s*}$ [–]	14,0224	10,8643	12,7977
$\sigma_{m*}$ [MPa]	0	0	0
$\sigma_{a*}$ [MPa]	9,4482	26,0522	22,3736
$\tau_{m*}$ [MPa]	0	0	0
$\tau_{a*}$ [MPa]	11,0823	5,2844	4,0387
$k_{\sigma*}$ [–]	12,7988	3,6705	5,1436
$k_{\tau*}$ [–]	8,4119	15,3565	21,6153
$k'_{\tau*}$ [–]	17,5957	36,9008	48,2825
$k_{dyn*}$ [–]	7,0296	3,57	5,0039

Z tabulky výsledků vyplývá, že nejnižší hodnota výsledné dynamické bezpečnosti je v místě 3, a její hodnota je  $k_{dyn3}=3,57$ . Dle literatury [8] je nejnižší dovolená hodnota výsledné dynamické bezpečnosti stanovena na  $k_{dyn,dov}=1,5$ . Hodnota v nejkritičtějším místě (místo 3) je tedy dostatečná.

## 6.8 Kontrola trvanlivosti ložisek

V těchto ložiscích je uložena hnací hřídel, jak již bylo zmiňováno dříve (kap. 6.7.2). Ložiska jsou počítána na základní trvanlivost, která je vyjádřena počtem hodin, jež znázorňují dobu provozu zařízení, bez nutnosti výměny ložisek.

Výpočet je proveden dle literatury [9].

### 6.8.1 Dynamické ekvivalentní zatížení ložiska A

*Poměr axiálního zatížení k radiálnímu zatížení*

$$\frac{F_{AX}}{F_{AY}} > e_A \rightarrow \frac{1665,0741}{3222,2965} > 0,31 \rightarrow 0,5167 > 0,31 \quad (65)$$

Kde:  $F_{AX}$  – Axiální reakční síla v ložisku A [N]

$F_{AY}$  – Radiální reakční síla v ložisku A [N]

$e_A$  – Výpočtový (porovnávací) koeficient ložiska A [–]

Z výsledku daného poměru vyplívá, že ložisko je třeba počítat na zatížení podle vzorce, kde je zohledněné radiální i axiální zatížení:

$$P_{rA} = X_A \cdot F_{AY} + Y_A \cdot F_{AX} = 0,4 \cdot 3222,2965 + 1,9 \cdot 1665,0741 \\ = 4452,5594 \text{ N} \quad (66)$$

Kde:  $X_A$  – Koeficient radiálního dynamického zatížení ložiska A [N]

$F_{AY}$  – Radiální reakční síla v ložisku A [N]

$Y_A$  – Koeficient axiálního dynamického zatížení ložiska A [N]

$F_{AX}$  – Axiální reakční síla v ložisku A [N]

### 6.8.2 Dynamické ekvivalentní zatížení ložiska B

Poměr axiálního zatížení k radiálnímu zatížení

$$\frac{F_{BX}}{F_{BY}} < e_B \rightarrow \frac{315,0741}{1260,2965} < 0,3 \rightarrow 0,25 < 0,3 \quad (67)$$

Kde:  $F_{BX}$  – Axiální reakční síla v ložisku B [N]

$F_{BY}$  – Radiální reakční síla v ložisku B [N]

$e_B$  – Výpočtový (porovnávací) koeficient ložiska B [–]

Z výsledku daného poměru vyplívá, že ložisko je možné počítat na zatížení podle vzorce, kde je zohledněné pouze radiální zatížení:

$$P_{rB} = F_{BY} = 1260,2965 \text{ N} \quad (68)$$

Kde:  $F_{BY}$  – Radiální reakční síla v ložisku B [N]

### 6.8.3 Základní trvanlivost ložiska A

$$L_{10hA} = \left( \frac{C_{rA}}{P_{rA}} \right)^{10/3} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_h} = \left( \frac{88900}{4452,5594} \right)^{10/3} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 7} = 5,1511 \cdot 10^7 \text{ hod} \quad (69)$$

Kde:  $C_{rA}$  – Základní dynamická únosnost ložiska A [N]

$P_{rA}$  – Dynamické ekvivalentní zatížení ložiska A [N]

$n_h$  – Otáčky hřídele [ $\text{min}^{-1}$ ]

### 6.8.4 Základní trvanlivost ložiska B

$$L_{10hB} = \left( \frac{C_{rB}}{P_{rB}} \right)^{10/3} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_h} = \left( \frac{55300}{1260,2965} \right)^{10/3} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 7} = 7,0946 \cdot 10^8 \text{ hod} \quad (70)$$

Kde:  $C_{rB}$  – Základní dynamická únosnost ložiska B [N]

$P_{rB}$  – Dynamické ekvivalentní zatížení ložiska B [N]

$n_h$  – Otáčky hřídele [ $\text{min}^{-1}$ ]

## 6.9 Návrh délky drážky pro pero

Přenos krouticího momentu z kyvného hydromotoru na hřídel, je zajišťován tvarovým stykem, přesněji pomocí těsného pera.

Výpočet je proveden dle literatury [10].

### 6.9.1 Obvodová síla působící na těsné pero

$$F_{op} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot M_k}{d_v} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 34}{16} = 4250 \text{ N} \quad (71)$$

Kde:  $M_k$  – Krouticí moment přenášený hřídelí [Nm]

$d_v$  – Průměr výstupního konce hřídele [mm]

### 6.9.2 Dovolенý tlak na boky drážek náboje kyvného hydromotoru

$$p_D = 0,25 \cdot p_o = 0,25 \cdot 150 = 37,5 \text{ MPa} \quad (72)$$

Kde:  $p_o$  – Základní hodnota tlaku pro materiál náboje kyvného hydromotoru [MPa]

### 6.9.3 Minimální délka pera:

$$l_p = \left( \frac{F_{op}}{p_D \cdot t_{1p}} \right) + b_p = \left( \frac{4250}{37,5 \cdot 2,1} \right) + 5 = 58,9683 \text{ mm} \quad (73)$$

Kde:  $F_{op}$  – Obvodová síla působící na těsné pero [N]

$p_D$  – Dovolенý tlak na boky drážek náboje kyvného hydromotoru [MPa],  
dle literatury [10]

$t_{1p}$  – Hloubka drážky pro pero v náboji kyvného hydromotoru [mm],  
dle literatury [15]

$b_p$  – Šířka drážky pro pero [mm], dle literatury [15]

Na hnací hřídeli je vyrobena drážka, do které lze umístit pero s délkou 70 mm, lze tedy konstatovat, že délka drážky pro pero je vyhovující.

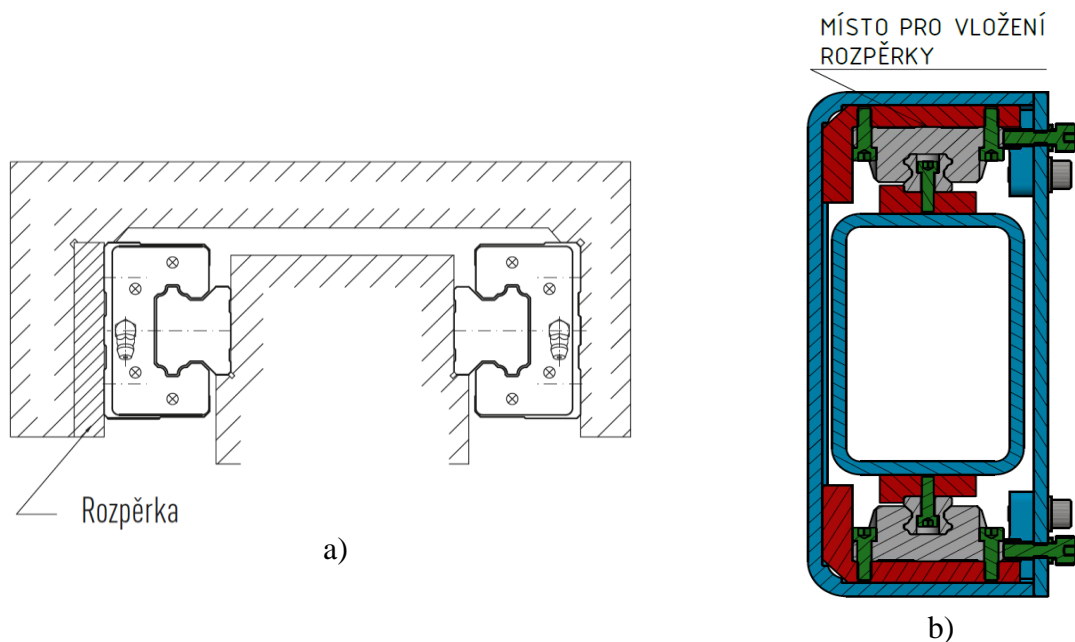
## 6.10 Návrh a kontrola lineárního vedení

Pomocí lineárního vedení a přímočarého hydromotoru je u manipulátoru, jehož návrh je předmětem této práce, zajišťována šířková stavitelnost rámu, tak aby bylo možné upínat formovací rámy dle potřeby vzniklé při pracovním procesu.

Volba jednotlivých parametrů lineárního vedení je prováděna dle katalogu [19], zároveň jsou při návrhu zohledňována i různá doporučení plynoucí z téhož katalogu.

### 6.10.1 Uspořádání a uložení komponent lineárního vedení

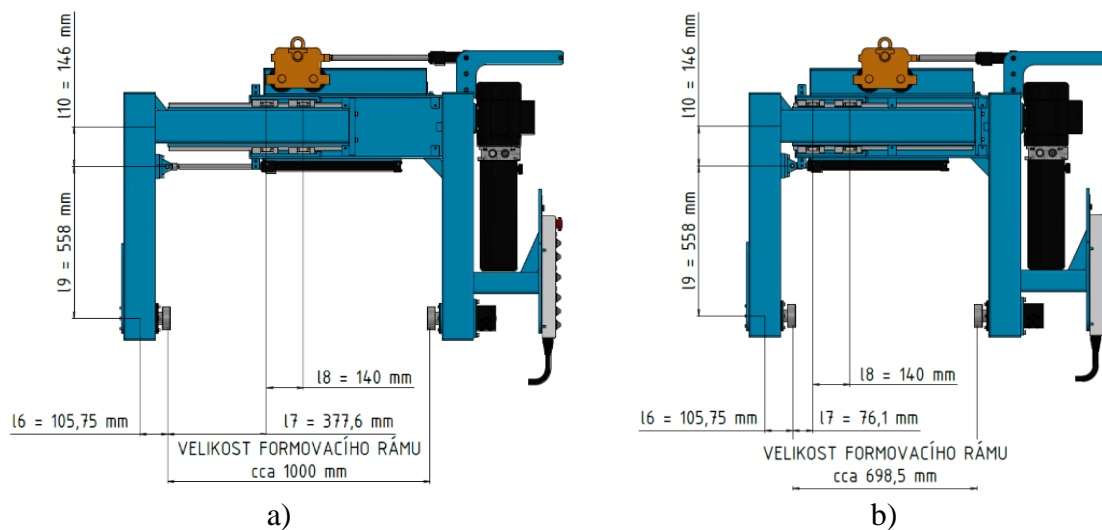
Lineární vedení se v tomto případě sestává ze dvou kolejnic umístěných naproti sebe a celkem ze čtyř lineárních vozíků, které jsou umístěny vždy v páru za sebou. Při umísťování jednotlivých komponent je vycházeno z doporučení výrobce. Tyto skutečnosti ukazují i obrázky (Obr. 70 a) a (Obr. 70 b).



Obr. 70) a) Doporučené uložení od výrobce HIWIN [19], b) Uložení v konstrukci vlastního manipulačního zařízení

### 6.10.2 Rozložení zatížení, které má vliv na jednotlivé vozíky lineárního vedení

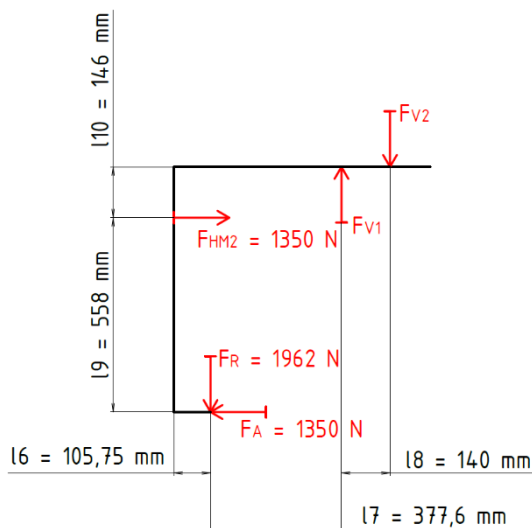
Při výpočtu zatížení jednotlivých vozíků je vycházeno z podmínek silové a momentové rovnováhy v rovině. Délkové rozměry při výpočtu jednotlivých zatížení při maximálním a minimálním vysunutí ramene jsou vyobrazeny na obrázcích (Obr. 71 a) a (Obr. 71 b).



Obr. 71) a) Rozměry při vysunutém ramenu, b) Rozměry při zasunutém ramenu

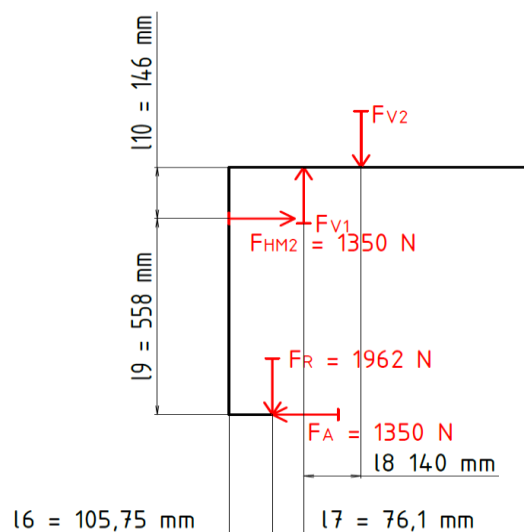
Jsou prozkoumány krajní případy zatížení a rozměrových možností manipulátoru, celkem jsou zkoumány čtyři případy zatížení a to:

- a) Zatížení manipulátoru při manipulaci s formovacím rámem o maximální hmotnosti 400 kg při maximálním vysunutí ramene (*Obr. 72*).



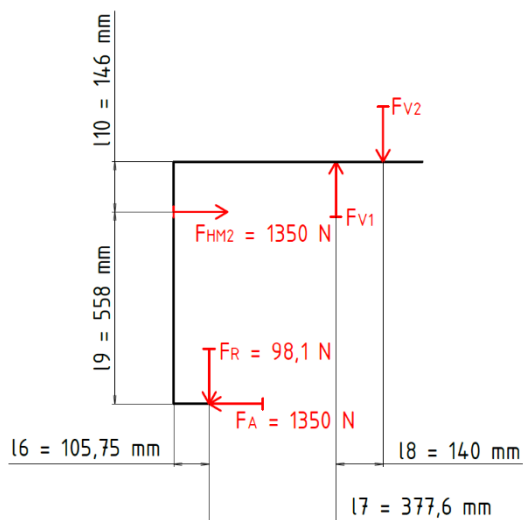
Obr. 72) Zatížení formovacím rámem o hmotnosti 400 kg při maximálním vysunutí ramene

- b) Zatížení manipulátoru při manipulaci s formovacím rámem o maximální hmotnosti 400 kg při minimálním vysunutí ramene (*Obr. 73*).



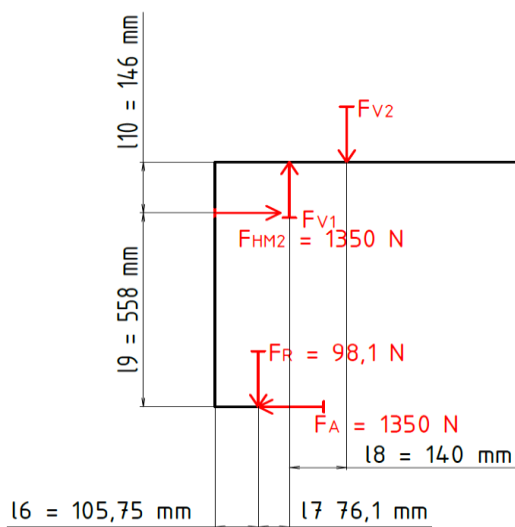
Obr. 73) Zatížení formovacím rámem o hmotnosti 400 kg při minimálním vysunutí ramene

- c) Zatížení manipulátoru při manipulaci s formovacím rámem o minimální hmotnosti 20 kg při maximálním vysunutí ramene (*Obr. 74*).



Obr. 74) Zatížení formovacím rámem o hmotnosti 20 kg při maximálním vysunutí ramene

- d) Zatížení manipulátoru při manipulaci s formovacím rámem o minimální hmotnosti 20 kg při minimálním vysunutí ramene (*Obr. 75*).



Obr. 75) Zatížení formovacím rámem o hmotnosti 20 kg při minimálním vysunutí ramene

### 6.10.3 Výpočet zatížení jednotlivých vozíků lineárního vedení

Zde je proveden výpočet jednoho z případů zatížení jednotlivých vozíků lineárního vedení. Konkrétně se jedná o případ z předchozí kapitoly (kap. 6.10.2) a to, zatížení manipulátoru při manipulaci s formovacím rámem o maximální hmotnosti 400 kg při maximálním vysunutí ramene cca 1000 mm (tedy případ zatížení a)

Podmínky silové a momentové rovnováhy

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ -F_A + F_{HM2} &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \\ -F_R + F_{V1} - F_{V2} &= 0 \\ \sum M_o &= 0 \text{ k vozíkům lineárního vedení v místě 1} \\ F_A \cdot (l_9 + l_{10}) - F_{HM2} \cdot l_{10} - F_R \cdot l_7 + F_{V2} \cdot l_8 &= 0\end{aligned}$$

Zatížení vozíků lineárního vedení v místě 2:

$$\begin{aligned}F_{V2} &= \frac{F_{HM2} \cdot l_{10} + F_R \cdot l_7 - F_A \cdot (l_9 + l_{10})}{l_8} = \\ &= \frac{1350 \cdot 0,146 + 1962 \cdot 0,378 - 1350 \cdot (0,558 + 0,146)}{0,140} = \quad (74) \\ &= -83,3143 \text{ N}\end{aligned}$$

Kde:  $F_{HM2}$  – Síla vyvinutá přímočarým hydromotorem pro šířkovou přestavitelnost ramen [N]

$F_R$  – Síla působící v radiálním směru na upínací část formovacího rámu [N]

$F_A$  – Síla působící v axiálním směru na upínací část formovacího rámu [N]

$l_7, l_8, l_9, l_{10}$  – Délkové rozměry na pohyblivém ramenu [m]

Zatížení lineárních vozíků v místě 1:

$$F_{V1} = F_R + F_{V2} = 1962 - 83,3143 = 1878,6857 \text{ N} \quad (75)$$

Kde:  $F_R$  – Síla působící v radiálním směru na upínací část formovacího rámu [N]

$F_{V2}$  – Zatížení lineárních vozíků v místě 2 [N]

Požadovaná statická únosnost vozíku v místě 1:

$$C_{01V} = |f_{SL} \cdot F_{V1}| = |5 \cdot 1878,6857| = 9393,4285 \text{ N} \quad (76)$$

Kde:  $f_{SL}$  – Statická konstrukční bezpečnost [–], dle literatury [19]

$F_{V1}$  – Zatížení vozíků lineárního vedení v místě 1 [N]

Požadovaná statická únosnost vozíku v místě 2:

$$C_{02V} = |f_{SL} \cdot F_{V2}| = |5 \cdot (-83,3143)| = 416,5715 \text{ N} \quad (77)$$

Kde:  $f_{SL}$  – Statická konstrukční bezpečnost [–], dle literatury [19]

$F_{V2}$  – Zatížení vozíků lineárního vedení v místě 2 [N]

#### 6.10.4 Výpočet zatížení jednotlivých vozíků lineárního vedení pro další případy zatížení

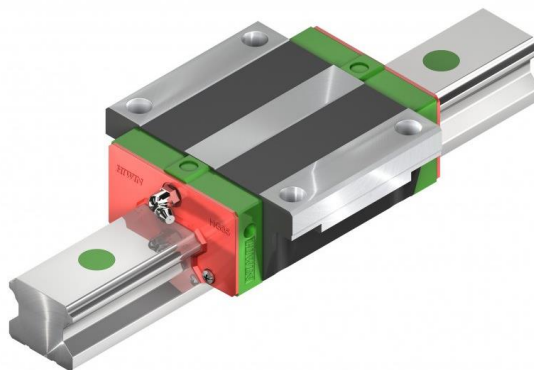
Vzhledem k tomu, že další výpočty pro různé případy zatížení, které jsou uvedeny v jedné z přechodících kapitol (kap. 6.10.2) a patrné z obrázků (Obr. 73), (Obr. 74), (Obr. 75), jsou počítány stejným způsobem jako výše (kap. 6.10.3) a také z důvodu úspory místa jsou výsledky dalších výpočtů uvedeny v tabulce (Tab 29). Detailní výpočty zmiňovaných případů zatížení jsou uvedeny v příloze (Priloha\_3 - Vypocet\_Linearni\_Vedeni).

Tab 29) Výsledné hodnoty zatížení jednotlivých vozíků lineárního vedení

Parametr	Případ zatížení a)	Případ zatížení b)	Případ zatížení c)	Případ zatížení d)
$F_R$ [N]	1962	1962	98,1	98,1
$F_A$ [N]	1350	1350	1350	1350
$F_{HV1}$ [N]	1350	1350	1350	1350
$l_6$ [m]	0,106	0,106	0,106	0,106
$l_7$ [m]	0,378	0,076	0,378	0,076
$l_8$ [m]	0,140	0,140	0,140	0,140
$l_9$ [m]	0,558	0,558	0,558	0,558
$l_{10}$ [m]	0,146	0,146	0,146	0,146
$F_{V1}$ [N]	1878,6857	-2353,6286	-5017,7443	-5229,36
$F_{V2}$ [N]	-83,3143	-4315,6286	-5115,8443	-5327,46
$C_{01v}$ [N]	9393,4286	11768,1429	25088,7214	26146,8
$C_{02v}$ [N]	416,5714	2157,1429	25579,2214	26637,3

Z tabulky výsledků vyplývá, že nejvyšší požadovaná statická únosnost pro vozík lineárního vedení je vyžadována v případě, kdy manipulátor bude zatěžován jako v posledním ze čtyř zkoumaných případů (případ d). Hodnota statické únosnosti v tomto případě je  $C_{02}=26637,3$  N.

Z tohoto důvodu je volen vozík z katalogu výrobce HIWIN [19] s označením HGW 20CC, který má stanovenou statickou únosnost na hodnotu  $C_{0v}=27760$  N a dynamickou únosnost na hodnotu  $C_{v dyn}=17750$  N. Byla zvolena přírubová verze vozíku (Obr. 76), která v tomto případě použití značně usnadňuje montáž vozíku na konstrukci daného manipulačního zařízení.



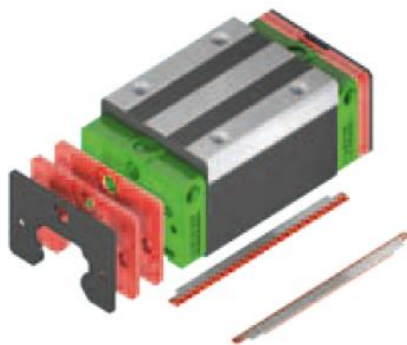
Obr. 76) Přírubová verze vozíku HIWIN [75]



V konstrukci manipulátoru jsou umístěny v každém místě zatížení dva vozíky nad sebou, což zaručuje značné naddimenzování. Protože v pracovním procesu při manipulaci s formovacím rámem může docházet k řadě různých dynamických účinků, které působí na zvolené vozíky lineárního vedení, také je potřeba zmínit skutečnost, že při výpočtu nebyla uvažována váha pohyblivého ramena, která by však konečný výsledek příliš neovlivnila.

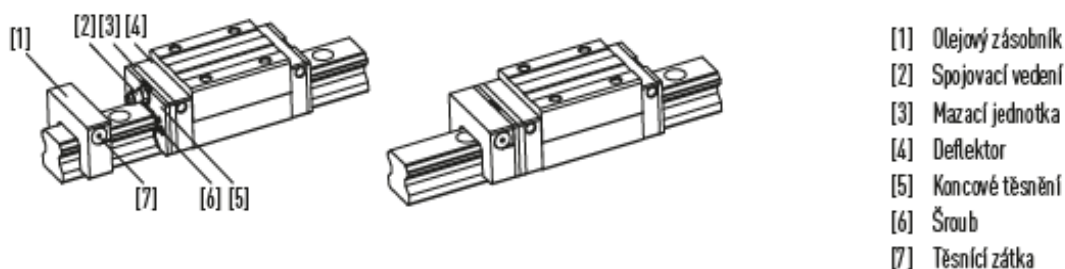
Zvolené vozíky jsou vhodné pro použití u brusek, frézek a vrtaček, obráběcích či dřevozpracujících strojů. Pro výpočet byla volena statická bezpečnost  $f_{SL}=5$ , což zohledňuje velké rázy a vibrace při provozu zařízení.

Jako dodatečné vybavení vozíků bylo zvoleno kombinované dvojité koncové těsnění (Obr. 77) se spodní lištou a plechovým stěračem, které je má značení definované výrobcem jako KK.



Obr. 77) Složení těsnění typu KK [19]

Toto těsnění je vhodné pro prašné aplikace, znečištěné prostředí, horké třísky a ostrohranné částice (což odpovídá prostředí ve slévárnách), plechový stěrač má za úkol chránit těsnění před poškozením. Jako dalším dodatečné vybavení k vozíkům, byla zvolena olejová mazací jednotka E2 (Obr. 78), která zajišťuje optimální mazání.



Obr. 78) Princip mazání lineárního vedení [19]

### 6.10.5 Životnost vozíku lineárního vedení

Při výpočtu životnosti je brán případ kdy na vozík působí maximální možné zatížení, to odpovídá síle  $F_{V2}=P=5327,46$  N (Tab 29). Dále byla vyjádřena rychlost vysunování a zasunování pohyblivého ramene, která odpovídá rychlosti vysunování pístnice hydromotoru  $v=0,85$  m·min<sup>-1</sup> (kap. 6.3.10). Životnost vozíku lineárního vedení je:

$$L_h = \frac{\left(\frac{C_{dyn}}{P}\right)^3 \cdot 50000}{v \cdot 60} = \frac{\left(\frac{17750}{5327,46}\right)^3 \cdot 50000}{0,85 \cdot 60} = 36260,5434 \text{ hod} \quad (78)$$

Kde:  $C_{dyn}$  – Dynamická bezpečnost zvoleného vozíku lineárního vedení [N],

dle literatury [19]

P – Nejvyšší možné zatížení vozíku lineárního vedení [N]

v – Rychlost vysunování či zasunování pohyblivého ramena [m · min<sup>-1</sup>]

Životnost vozíku lineárního vedení je počítána pro maximální možné zatížení, které nebude na vozík působit celou dobu jeho životnosti. Dá se tedy konstatovat, že výsledná životnost lineárního vozíku, která je výsledkem předchozího vztahu, tedy  $L_h=36260,5434$  hod je minimální životnost lineárního vozíku, protože průběh zatížení se při vysunování pohyblivého ramene mění.

## 6.11 Kontrola výsuvného ramena

Pro kontrolu výsuvného ramena byl využit program, který k vyhodnocení průběhu napětí či deformací využívá metodu konečných prvků.

Ve studentské verzi programu Autodesk Professional byl vytvořen 3D model výsuvného ramena, který byl následně převeden do studentské verze programu Ansys Workbench. V modulu Static Structural bylo následně rameno podrobeno kontrole, kde se zjišťovaly průběhy napětí a deformací.

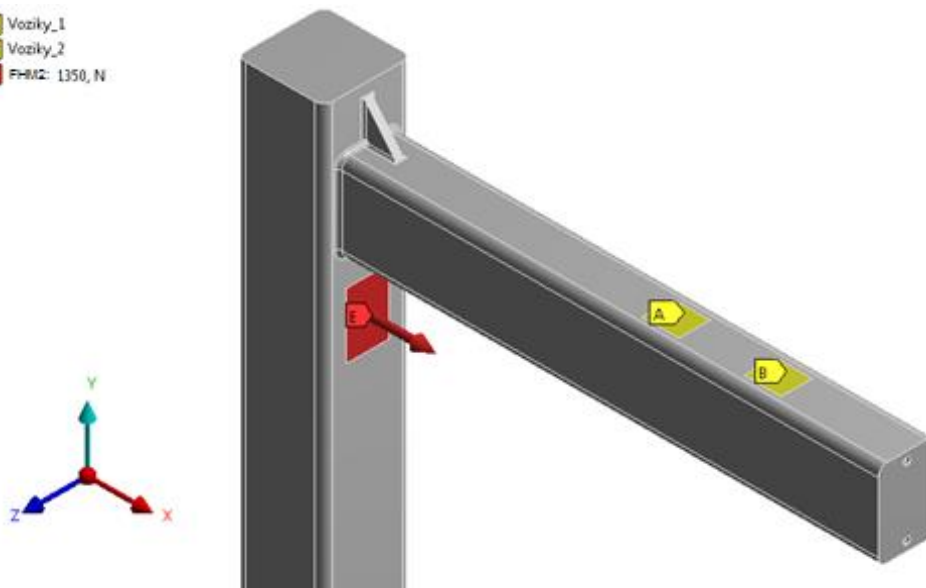
Kontrola ramena byla podobně jako u kontroly lineárního vedení (6.10.2) provedena pro čtyři případy zatížení.

### 6.11.1 Okrajové podmínky

Jako materiál použitý pro konstrukci ramena byla zvolena ocel S 235 JR (11 373), které byly přiřazeny vlastnosti typické pro ocel jako je hustota 7850 kg·m<sup>-3</sup>, modul pružnosti v tahu 200 GPa, Poissonovo číslo 0,3 [7].

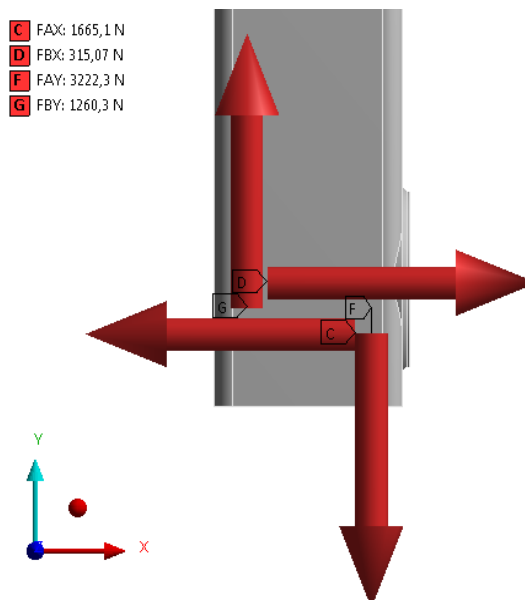
K uchycení ramena v prostoru byly využity vazby, které byly přidány na místa, kde se nacházejí vozíky lineárního vedení. Následně vazby měly za úkol zabránit pohybu ramena v ose Y a v ose Z. Umístění vazeb (žlutá barva) a orientace ramena vzhledem k souřadným osám je patrné z obrázku (Obr. 79).

A Voziky\_1  
B Voziky\_2  
E FHM2: 1350, N



Obr. 79) Rameno ve studentské verzi programu Ansys Workbench - Vazby a silové zatížení

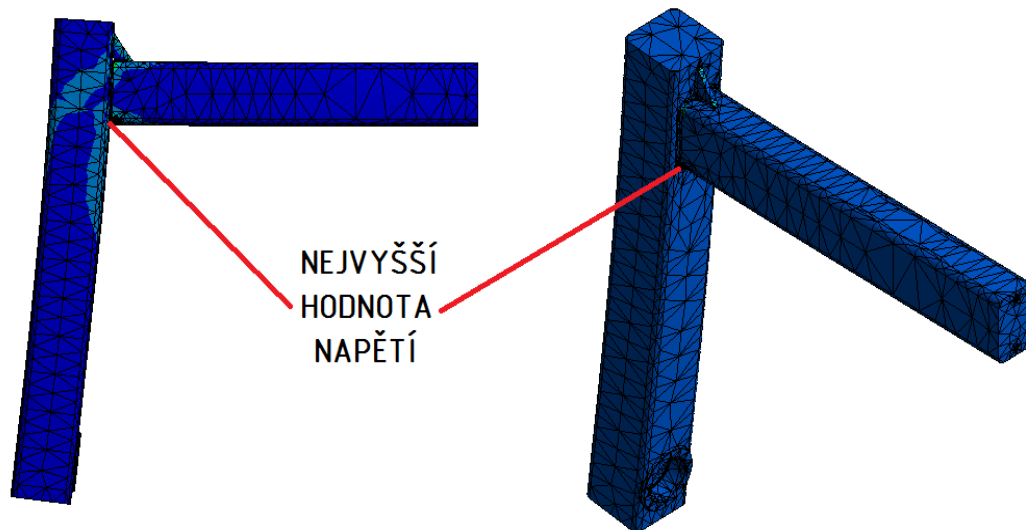
Následně bylo rameno zatíženo silami  $F_{AX}$  a  $F_{BX}$ , které reprezentují silové zatížení ramena v ose X, toto zatížení je přenášeno na rameno přes hřídel a působí v místě uložení ložisek hřídele. Ložiska jsou uložena v pouzdrů, jež je ke konstrukci ramene přivařeno. Poté bylo rameno zatíženo silou  $F_{HM2}$ , která odpovídá zatížení ramena silou od přímočarého hydromotoru v ose X a místo působení odpovídá uchycení konce pístnice hydromotoru k ramenu pomocí konzoly. Dalšími zatěžujícími silami jsou síly  $F_{AY}$  a  $F_{BY}$ , které zatěžují rameno ve směru osy Y a jejich působí odpovídá místu uložení ložisek. Umístění všech silových působení (červená barva) a směry působících sil jsou znázorněny na obrázcích (Obr. 79) a (Obr. 80).



Obr. 80) Rameno ve studentské verzi programu Ansys Workbench - Silové zatížení

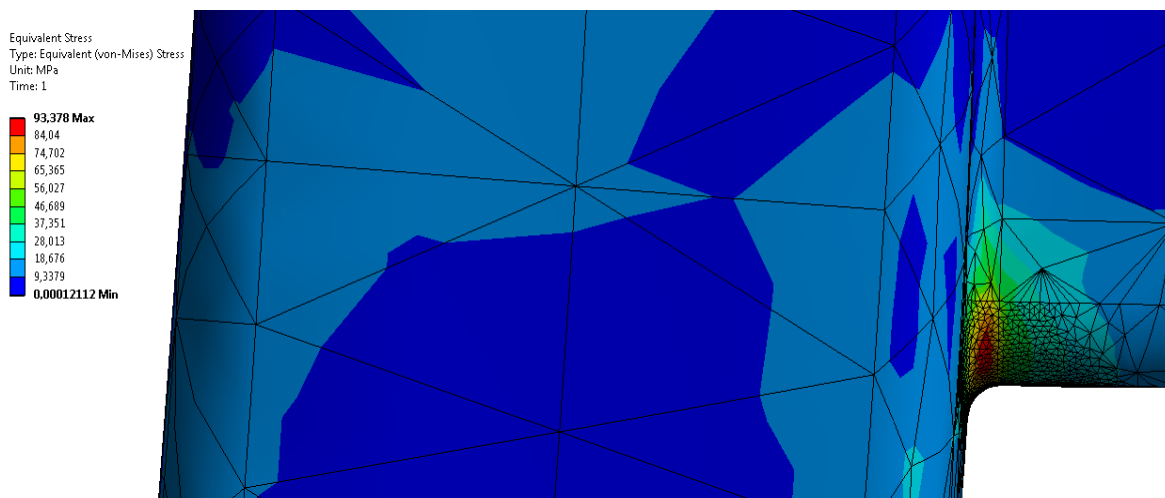
### 6.11.2 Průběh napětí

Při vykreslování průběhu napětí bylo patrné, že nejvyšší hodnota napětí je v místě, kde jsou k sobě přivařeny profily se čtvercovým a s obdélníkovým průřezem (Obr. 81).



Obr. 81) Místo nejvyšší hodnoty napětí

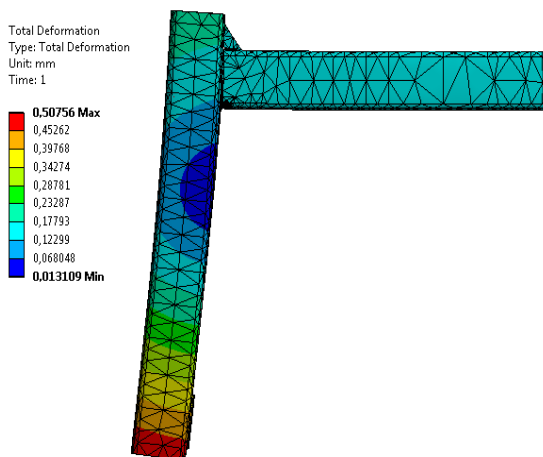
V tomto místě byla následně vhodně zjemněna síť a sledován průběh napětí. Výsledek je patrný z obrázku (Obr. 82).



Obr. 82) Napětí v kritickém místě, případ zatížení a)

### 6.11.3 Průběh deformací

Při vykreslování průběhu deformací je patrné, že k největšímu posuvu geometrie ramena vůči ideálnímu případu dochází na spodní části ramena. To lze vidět na obrázku (Obr. 83)



Obr. 83) Deformace ramena, případ zatížení a)

### 6.11.4 Porovnání a vyhodnocení výsledků

Jak již bylo zmíněno výše kontrola ramene pomocí studentské verze programu Ansys byla provedena pro čtyři způsoby zatížení, které jsou uvedeny v jedné z předchozích kapitol (kap. 6.10.2). Při kontrolách pro jiné způsoby zatížení bylo postupováno výše popsaným způsobem. Z důvodu úspory místa jsou výsledky uvedeny v tabulce (Tab 30). Průběhy napětí a deformací pro další způsoby zatížení jsou uvedeny v příloze (Příloha\_4 - Kontrola\_Vysuvne\_Rameno)

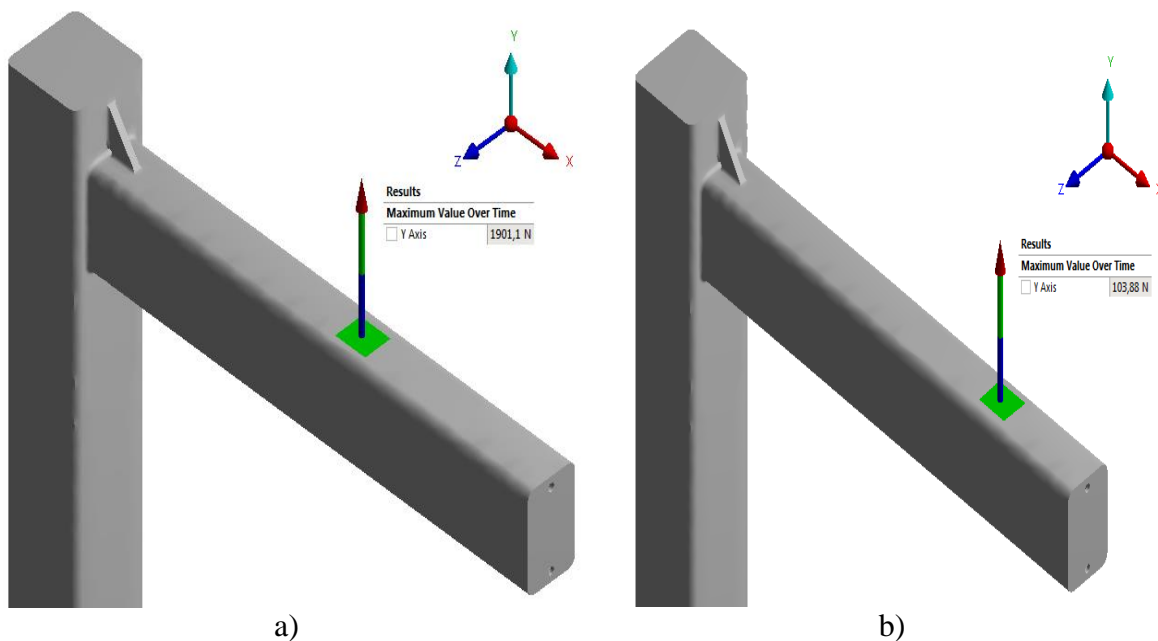
Tab 30) Výsledné hodnoty zatížení jednotlivých vozíků lineárního vedení

Parametr	Případ zatížení a)	Případ zatížení b)	Případ zatížení c)	Případ zatížení d)
Maximální napětí [MPa]	93,4	93,9	83,1	83,4
Maximální deformace [mm]	0,51	0,47	0,62	0,42

Jak je patrné z tabulky (Tab 30) maximální hodnota napětí, které se nachází na ramenu je cca 94 MPa. Při srovnání s dovoleným napětím pro ocel S 235 JRG 1 (11 373), při míjivém ohybu je tato hodnota dostačující, protože literatura udává dovolené napětí 105 MPa při součiniteli bezpečnosti 2.

Při zhodnocení maximálních deformací je maximální možná deformace 0,62 mm, tato hodnota se vyskytuje navíc pouze ve spodní části ramena. Při zohlednění celkových rozměrů ramena a manipulačního zařízení jako celku a s přihlédnutím k funkcím, které toto zařízení bude vykonávat, se jeví tato deformace jako přijatelná.

Pro kontrolu správnosti výsledků (správné uchycení a zatížení tělesa v prostoru) pomocí výše popsané metody, byly do míst, kde jsou umístěny vazby, které reprezentují omezení pohybu ramena pomocí vozíků lineárního vedení, umístěny sondy ukazující velikosti rekčních sil v těchto místech. Výsledné hodnoty ukazují obrázky (Obr. 84).



Obr. 84) a) Výsledná hodnota v místě umístění prvního vozíku lineárního vedení,  
b) Výsledná hodnota v místě umístění druhého vozíku lineárního vedení

Toto bylo porovnáno s výsledky analytického výpočtu (*Tab 29*) pro stejný způsob zatížení (tedy případ *a*), který byl proveden v jedné z přechozích kapitol (*kap. 6.10.3*). Reakce v těchto místech odpovídali hodnotám  $F_{V1}=1878,6857 \text{ N}$  a  $F_{V2}=-83,3143$ . Když zanedbáme znaménko u síly  $F_{V2}$  (ukazuje pouze směr působení síly), dá se konstatovat, že výsledky získané analytickým způsobem jsou dosti podobné (rozdíl pouze asi 20 N) výsledkům uvedeným na obrázcích (*Obr. 84 a*) a (*Obr. 84 b*), což ukazuje správnost použitých metod.

## 7 BEZPEČNOST PŘI POUŽÍVÁNÍ ZAŘÍZENÍ

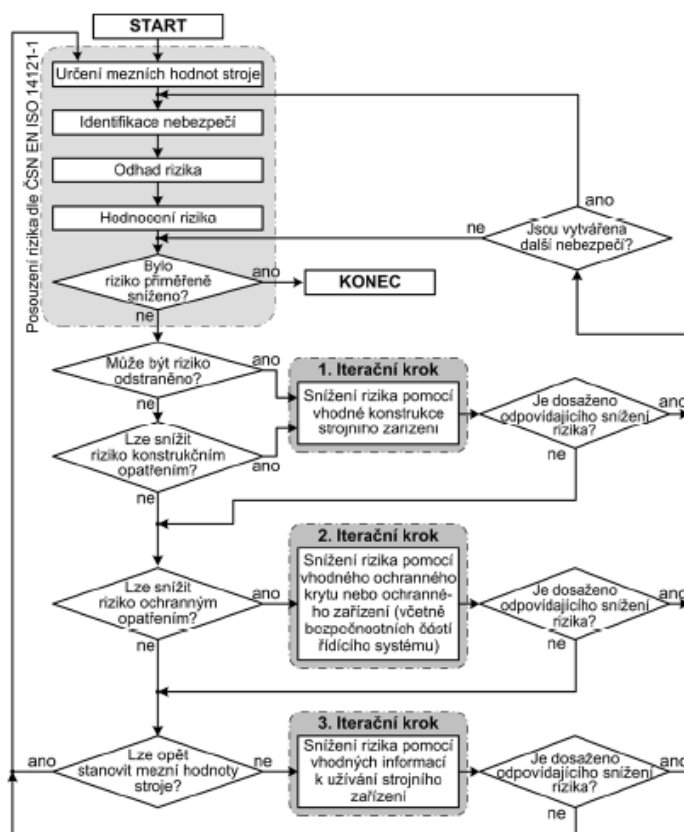
K tomu aby bylo možné strojní zařízení provozovat ve výrobních závodech nebo jiných podnicích v České republice, je nutné zajistit prohlášení o shodě s ohledem na legislativní požadavky platné v naší republice a v Evropské unii.

Před tím než bude zařízení uvedeno do provozu, je nutné, aby splňovalo požadavky, které se týkají ochrany zdraví a bezpečnosti. Důležitým požadavkem je také to, že je nutné pro zařízení zpracovat technickou dokumentaci, návod k používání zařízení a také analýzu možných rizik.

Zpracování těchto dokumentů musí splňovat určité požadavky, a proto vychází z norem, jako například: ČSN EN ISO 12100 - Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika, ČSN EN ISO 13857 - Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami, ČSN EN ISO 13849-1 - Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnost částí ovládacích systémů, atd.

### 7.1 Analýza rizik

Při návrhu takovéhoho zařízení musí brát konstruktér zřetel na bezpečnost a zdraví osob, které můžou s tímto zařízením v době jeho životnosti přijít do styku. Proto je nutné při návrhu zařízení analyzovat možná rizika a ty následně posuzovat a pokud možno snižovat. Doporučený postup ukazuje diagram na obrázku (Obr. 85).



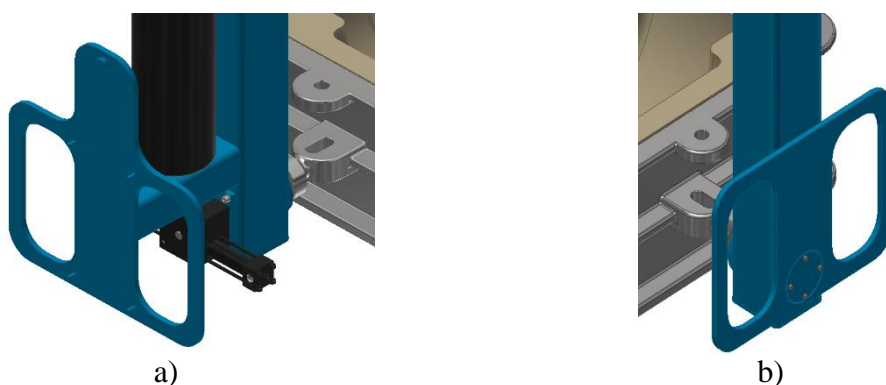
Obr. 85) Postupový diagram iterační metody „Tři kroků“ dle ČSN ISO 12100-1 [11]

## 7.2 Bezpečnost manipulačního zařízení pro skládání slévárenských forem

Jak je uvedeno v diagramu na obrázku (Obr. 85), je vhodné rizika co nejvíce snižovat a to vhodným provedením konstrukce strojního zařízení, pomocí krytování nebo ochranného zařízení nebo snížením rizika pomocí vhodných informací k užívání strojního zařízení. Je nutno brát zřetel na bezpečnost či zdraví osob, které manipulační zařízení přímo využívají nebo jej třeba jen přemísťují. Mezi prvky nebo skutečnosti, které zvyšují bezpečnost manipulačního zařízení pro skládání slévárenských forem, patří:

### 7.2.1 Provedení konstrukce rámu

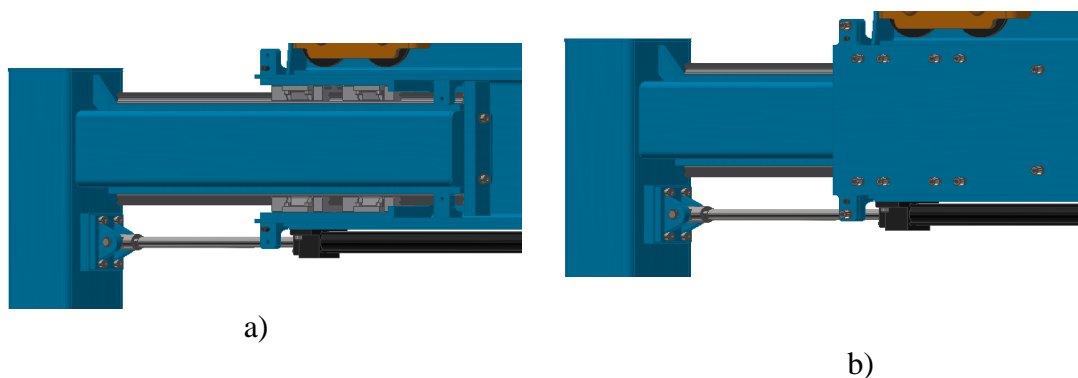
V konstrukci rámu se vyhnout pokud možno ostrým hranám, o které by si mohla obsluha způsobit zranění (řeznou ránu). Vedení pro média (elektrická energie, hydraulická kapalina) uzpůsobit tak aby se neproškolený personál nemohl dostat k částem tohoto vedení, které by ho mohly nějak ohrozit (zásah elektrickým proudem). Vedení pro média na strojním zařízení vést stylem, že bude minimalizovaná možnost jeho poškození při přepravě nebo při používání (upínat ke konstrukci rámu nebo zabudovat do konstrukce rámu). Volit vhodně uchopovací body pro obsluhu tak aby byla obsluha co nejpohodlnější a v místě uchopovacích bodů se nenacházely pohyblivé části zařízení (Obr. 86).



Obr. 86) a) Uchopovací body na levé straně zařízení, b) Uchopovací body na pravé straně zařízení

### 7.2.2 Krytování pohyblivých částí

V horní části konstrukce dochází k vysunování ramena manipulátoru, toto místo musí být krytováno (Obr. 87 b) tak, aby do místa pohyblivých částí (Obr. 87 a) nemohla osoba vložit končetinu.

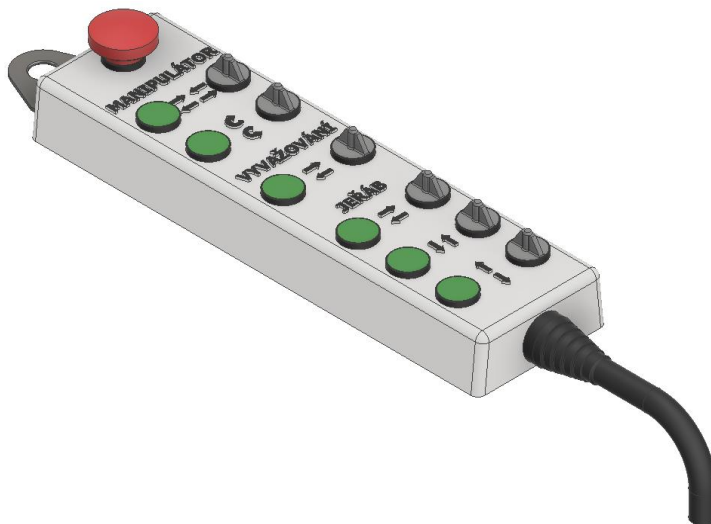


Obr. 87) a) Zařízení před krytováním, b) Zařízení po zakrytování



### 7.2.3 Vhodné ovládací prvky

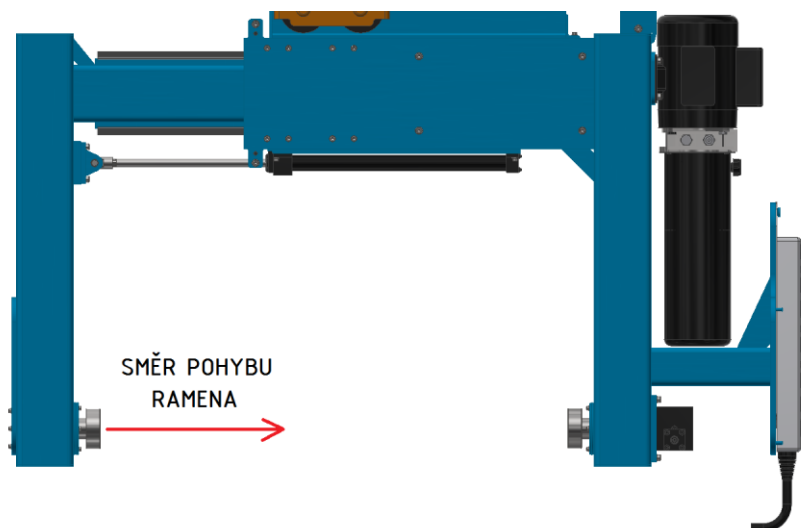
Ovládací tlačítkový panel je uzpůsoben tak, že obsluha může ovládat pouze jeden z možných pohybů v jeden okamžik. Což značně usnadňuje obsluhu orientaci při probíhající činnosti (nemusí sledovat více pohybů zařízení v jeden okamžik). Obsluha musí držet tlačítko v zapnuté pozici, jakmile jej obsluha pustí, dojde automaticky k vrácení tlačítka do výchozí pozice a s tím je spojené přerušení pohybů zařízení. Součástí ovládacího tlačítkového panelu je i tlačítko pro nouzové vypnutí. Podoba ovládacího panelu je na obrázku (Obr. 88).



Obr. 88) Ovládací tlačítkový panel manipulačního zařízení

### 7.2.4 Volba rychlosti šířkové stavitelnosti rámu

Rám manipulátoru je šířkově přestavitelný, rychlost pohybu přestavování ramen je volena na nízkou hodnotu, tak aby obsluha manipulátoru stihla zaregistrovat, že dochází k procesu přestavování ramen a tedy k jejich pohybu. Směr pohybu ramena ukazuje obrázek (Obr. 89).

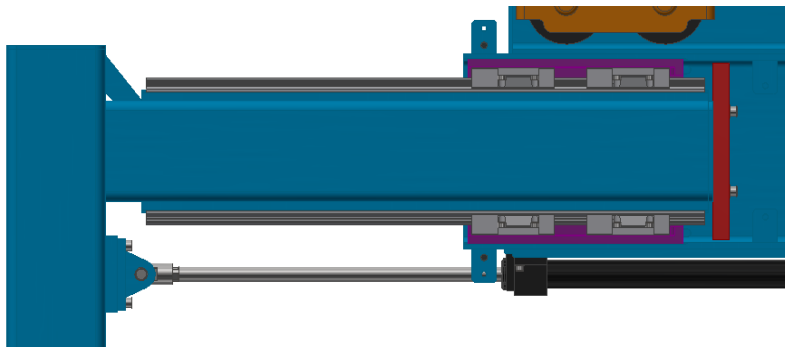


Obr. 89) Pohyb ramena manipulátoru

### 7.2.5 Volba vhodných komponent a prvků umístěných na konstrukci

Do této kategorie spadá volba jednotlivých komponent jako například pohonné jednotky, které zajišťují jednotlivé pohyby zařízení (přestavování šířky rámu, otáčení formy). Pokud je to možné je například vhodné pro tyto pohonné jednotky volit jako napájecí napětí 24 V. Nutno je brát zřetel i na možné nepředvídatelné události, které můžou nastat v pracovním procesu, jako je například výpadek elektrické energie, přetržení hadice v hydraulickém obvodu. Proto je potřeba při volbě pohonu zohlednit i tyto možné události a umístit do konstrukce prvky minimalizující ohrožení či škody, které jsou těmito událostmi způsobeny. Z tohoto důvodu je do hydraulického obvodu zařazen bezpečnostní ventil (Obr. 64).

Další prvkem konstrukce, který slouží k ochraně obsluhy při demontáži přímočarého hydromotoru pro přestavování ramen, je pojistka proti úplnému vysunutí a vypadnutí ramena. Toto ukazuje obrázek (Obr. 90). Při demontování přímočarého hydromotoru nemůže dojít k vysunutí ramena, protože by pojistka proti vysunutí (červená barva) narazila na součást, která slouží k uložení vozíků lineárního vedení (fialová barva), tato součást je k tomu uzpůsobena tak aby nemohlo dojít k porušení vozíku lineárního vedení.



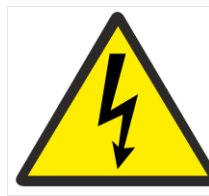
Obr. 90) Funkce pojistky proti vysunutí

### 7.2.6 Bezpečnostní značení

Zařízení musí být označeno různými bezpečnostními štítky, které obsluhu upozorňují na možná nebezpečí nebo označují bezpečnostní prvky. Mezi tyto štítky lze zahrnout například štítek, který upozorňuje na nebezpečí úniku kapaliny pod tlakem, nebezpečí úrazu elektrickým proudem (Obr. 91 b), nebezpečí stlačení (Obr. 91 a) nebo označení tlačítka nouzového zastavení.



a)



NEBEZPEČÍ ÚRAZU  
ELEKTRICKÝM  
PROUDEM

b)

Obr. 91) a) Štítek označující nebezpečí stlačení [76], b) Štítek označující nebezpečí úrazu elektrickým proudem [77]

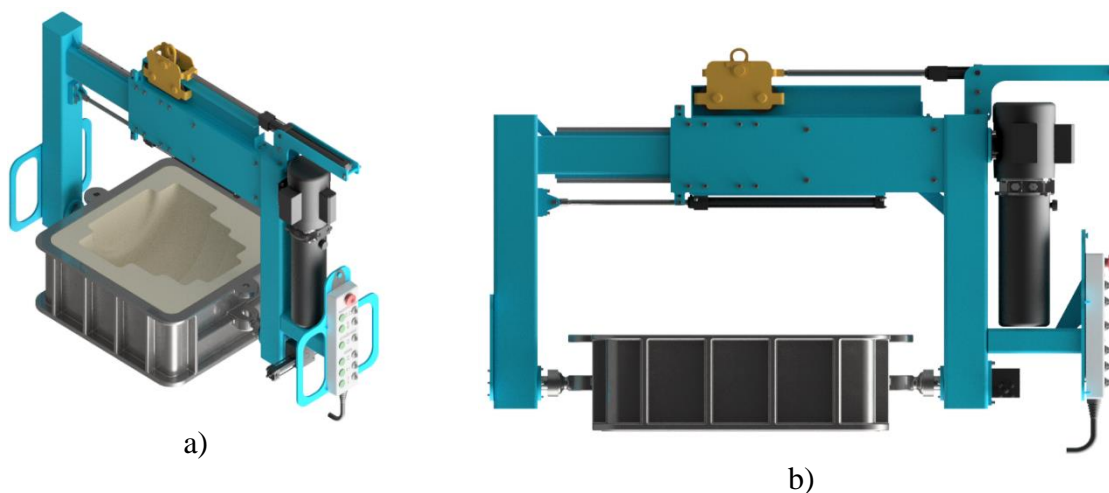
### 7.2.7 Proškolená obsluha

Vzhledem k tomu v jakém prostředí je zařízení nejčastěji nasazeno (prostředí slévarenských závodů) a při zohlednění funkcí jaké jsou od něj vyžadovány, je nutné, aby s manipulačním zařízením pracovala pouze proškolená obsluha.

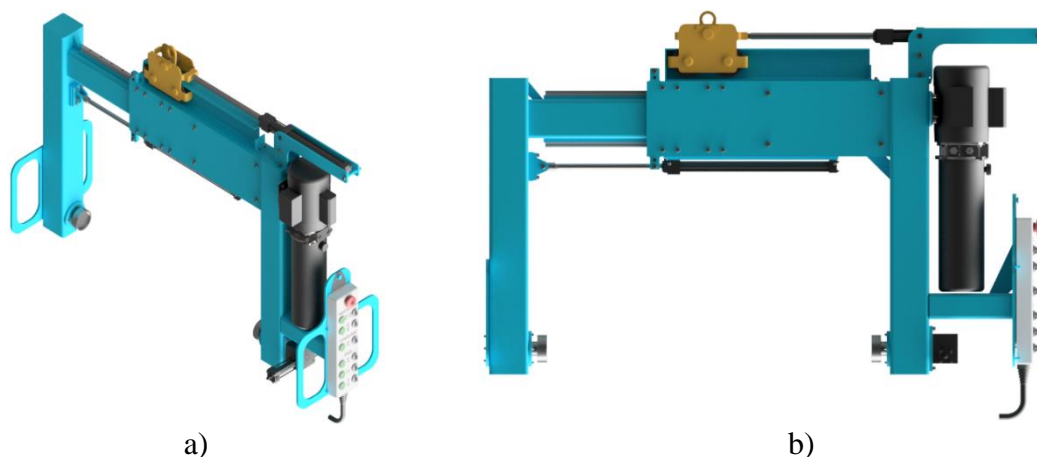
## 8 3D MODEL MANIPULÁTORU PRO SKLÁDÁNÍ SLÉVÁRENSKÝCH FOREM

Trojrozměrný model manipulačního zařízení pro skládání slévárenských forem byl vytvořen v programu Autodesk Inventor Professional. Modely hydromotorů HTR .9 - 3603C - CA61 - A, 25 C P HMI M N 2 1 M 425.00 M 1 1 0 0, 32 DD HMI M N 2 1 M 365.00 M 1 1 0 0 a hydraulického agregátu 550 TC 04 15 - SW - NNN - HP - 10 byly staženy z internetových stránek společnosti Parker [79], [80], [81]. Modely ložisek 30305, 30307 a modely KM matice a MB podložky byly staženy z internetových stránek společnosti SKF [74], [82], [83], [84][84].

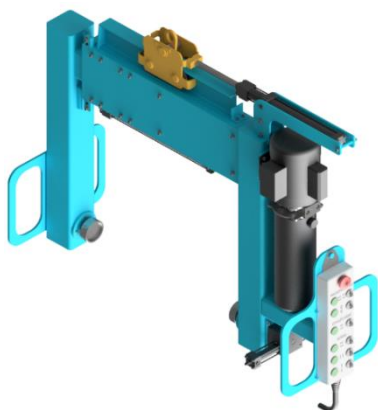
Výsledná podoba manipulátoru pro skládání slévárenských forem je patrná z následujících obrázků (Obr. 92), (Obr. 93), (Obr. 94).



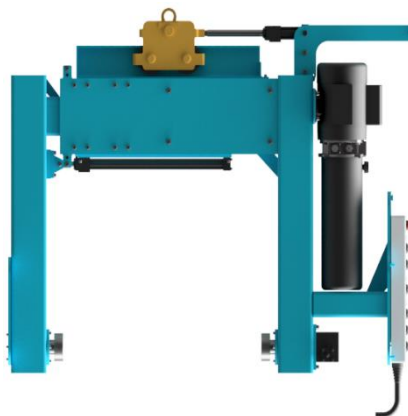
Obr. 92) a) 3D model manipulátoru s upnutou formou - Pohled 1, b) 3D model manipulátoru s upnutou formou - Pohled 2



Obr. 93) a) 3D model manipulátoru s maximální vysunutí ramena - Pohled 1, b) 3D model manipulátoru s maximálním vysunutí ramena - Pohled 2



a)



b)

Obr. 94) a) 3D model manipulátoru s minimálním vysunutí ramena - Pohled 1,  
b) 3D model manipulátoru s minimálním vysunutí ramena - Pohled 2

## 9 DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Každé strojní zařízení prochází určitým svým životním cyklem a to se týká návrhu, výroby a montáže, používání zařízení a jeho následná likvidace. Pro jednotlivá odvětví lze stanovit základní doporučení:

### 9.1 Návrh zařízení

Při návrhu nového zařízení by se měly nejprve vytyčit cíle, kterých má být dosaženo a určit k čemu se primárně zařízení bude využívat. Musí být jednoznačně specifikováno, s jakými břemeny a jak bude manipulační zařízení pracovat (určení maximálních rozměrů, parametrů břemen a pohybů manipulátoru). Dále je třeba určit prostředí, ve kterém bude zařízení nasazeno, od toho se odvíjí volba jednotlivých materiálů případně dalších komponent nebo skutečností (různé druhy těsnění, nátěry, zpracování). Při specifikaci prostředí se bere ohled, zda je možno v tomto prostředí možné zařízení například bezproblémově připojit k jeřábu (nosnost), zda lze přivést bez problémů k zařízení energii (elektrická energie, stlačený vzduch).

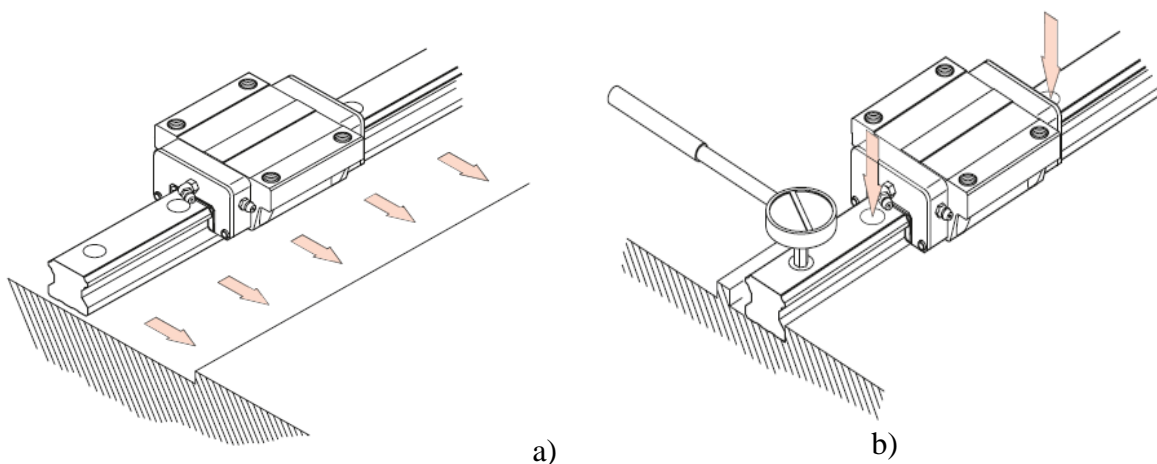
Následně může konstruktérský tým přejít k vlastnímu návrhu zařízení, kde bude využívat informací, které již sesbíral. Při návrhu by měl postupovat sofistikovaným a systémovým způsobem, tak aby neopomněl žádnou důležitou skutečnost (výrobní, montážní, funkční, přepravní a bezpečnostní hledisko). Jelikož jsou v dnešní době vysoké časové nároky, měl by konstruktérský tým využívat nových metod a přístupů, které umožňují zkrácení potřebného času na vytvoření konstrukce, aniž by to mělo negativní dopad na výsledek. S časovým hlediskem souvisí správné rozvržení práce a časů pro celý tým, který se na konstrukci zařízení podílí.

### 9.2 Výroba zařízení

Při výrobě musí být vždy dodrženy určité technologické postupy. U tohoto typu zařízení se jedná zejména o to, že na konstrukci zařízení se nachází mnoho svarových spojů, které můžou způsobit nechtěnou deformaci celé konstrukce, což je způsobeno tím, že při svařování dochází k teplotnímu ovlivnění pouze určitých částí konstrukce. Proto je nutné brát ohled na to, že některé součásti musí být po svařování ještě obrobeny, jedná se zejména o funkční plochy, které slouží k uložení ložisek pro hřídel nebo komponent lineárního vedení.

### 9.3 Montáž zařízení

Po výrobě jednotlivých komponent je nutné tyto komponenty poskládat tak, aby tvořili funkční celek. U montáže jednotlivých komponent je doporučeno postupovat dle doporučení výrobců těchto komponent (například montáž vozíků a kolejnic lineárního vedení (*Obr. 95*), montáž ložisek). Zařízení také obsahuje různé bezpečnostní prvky, které je vhodné na konstrukci umístit co nejdříve je to možné (montáž pojistky proti vysunutí ramena). Je proto vhodné mít vytvořený určitý postup montáže a ten dodržovat.



Obr. 95) a) Ukázka zarovnání kolejnice lineárního vedení [19], b) Utažení šroubů kolejnice lineárního vedení momentovým klíčem [19]

## 9.4 Používání zařízení

Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole (*kap. 7*), každé zařízení, které je provozováno v České republice musí mít zpracovaný návod k použití tohoto zařízení. Zařízení musí být užíváno jen způsobem, jaký je uveden v tomto návodu. Zařízení nesmí být přetěžováno nebo používáno k jiným účelům než byly při návrhu zařízení stanoveny. Jak již bylo zmíněno dříve (*kap. 7.2.7*) zařízení může obsluhovat pouze řádně proškolená obsluha.

## 9.5 Likvidace zařízení

Každé zařízení má určitou životnost, po uplynutí určité doby není zařízení možné dále používat z různých důvodů. K těmto důvodům patří například to, že zařízení je již zastaralé a nedokáže plnit funkci ve stejném časovém horizontu jako moderní zařízení. Dalším důvodem může být, že u zařízení došlo k poruše, která je již neopravitelná a zařízení neplní svoji funkci správně nebo nevyhovuje již z bezpečnostního hlediska.

Když nastane nějaká z výše popsaných skutečností, musí být zařízení demontováno na jednotlivé celky a ty musí být ekologicky zlikvidovány (různá těsnění, izolace, kapaliny, vedení pro různá média) nebo v případě možné recyklace (zejména kovy) dále zpracovávány. Tuto činnost nemusí ve většině případů vykonávat firma, jež zařízení používala. Na dnešním trhu je mnoho firem nabízejících odkup správně nefungujících nebo nechtěných zařízení, které tyto firmy následně likvidují vhodným způsobem.

## 10 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Diplomová práce tohoto typu ukázala mnoho cenných poznatků. Významným uvědoměním je to, že aby se dnešní konstruktér strojních zařízení dokázal prosadit v konkurenci, musí prokázat, že má alespoň základní poznatky z různých odvětví průmyslu (hydraulika, pneumatika, strojírenská technologie, elektrotechnika). Důležité je mít také povědomí o možnostech dnešního trhu a různých komponentách nebo službách na něm nabízených. Toto konstruktérovi značně rozšiřuje konstrukční možnosti a zároveň šetří čas ve výrobním procesu.

Díky navrhování takovýchto manipulátorů je možné dosáhnout značného ušetření námahy pracovníků na pozicích ve slévárnách. Dále tyto manipulátory umožňují částečné zlepšení bezpečnosti při manipulaci s formovacími rámy, protože mají upínací části přímo uzpůsobené na toto použití a minimalizují tak riziko pádu formy. Nesmíme opomenout ani částečnou úsporu času, ke které nám tyto zařízení dopomáhají.

Při návrhu je však nutné ke každému zařízení takového typu přistupovat individuálně a na základě systémového přístupu vždy volit komponenty do konstrukce za tím účelem, aby co možná nejlépe plnili požadované funkce. Jinými slovy je potřeba si uvědomit, že co funguje na jednom místě, nemusí fungovat úplně stejně na místě jiném.

Při hodnocení celé diplomové práce se nesmí opomenout, že se zabývala hlavně konstrukčním návrhem manipulátoru, tak aby manipulátor plnil funkce v pracovním procesu. Toto zahrnovalo výběr nejvhodnějšího konstrukčního uspořádání pro danou aplikaci a následně provedený návrh či kontrola jednotlivých konstrukčních prvků. Nemělo by se však opomenout, že funkce manipulátoru by šly ještě vylepšit. A to například doplněním manipulátoru o automatické řízení hydromotoru, který přestavuje pojezdovou kočku na nosníku v horní části konstrukce manipulátoru a tím zajišťuje jeho vyvažování (v závislosti na vysunutí ramena). Tímto by se značně zvýšil komfort obsluhy, která by si neustále nemusela hlídat vyvážení manipulátoru a nutnost přestavovat pojezdovou kočku pomocí manuálního stlačování tlačítka. Dalším prvkem zvyšující značně bezpečnost obsluhy, by byla funkce, která by měla za úkol automaticky detekovat, zda je formovací rám upnut správně a bezpečně (pozice čepu formovacího rámu v uchycovací části, síla sevření). Při negativním vyhodnocení by nebylo možné vykonávat pohyby s manipulátorem pomocí jeřábu. Dalším námětem na zlepšení je návrh nového způsobu uchopování formovacích rámu, protože při velkém počtu uchopení dochází k opotřebení uchopovacích částí a návrhem nové koncepce by toto mohlo být značně eliminováno. Při návrhu se nesmí opomenout, že podnik, ve kterém bude manipulátor nasazen, již může vlastnit velké množství formovacích rámu. U těchto rámu již nemusí být možnost úpravy čepu pro uchycení, proto by bylo vhodné při vytváření nové koncepce uchycení myslet na určitou univerzálnost. Práci by bylo možné také rozšířit o vypracování analýzy rizik, která můžou vzniknout při výrobě nebo následné používání manipulačního zařízení. Dále by mohl být vypracován zmiňovaný návod k používání manipulátoru. Výše zmíněné skutečnosti však již přesahují rozsah zadání práce.

V procesu vypracovávání této diplomové práce jsem si uvědomil mnoho skutečností a zkusil si různé možnosti při řešení konstrukčního problému, které budu moci kladně využít v budoucnu.





## 11 ZÁVĚR

Výsledkem této diplomové práce je konstrukční návrh manipulátoru pro skládání slévárenských forem. V práci byl vypracován přehled současného stavu poznání v kategorii manipulačních zařízení. Na manipulační zařízení bylo nejprve nahlíženo z obecného hlediska a byly popsány základní důvody a úkony pro mechanizaci, případně automatizaci pracovního procesu. Následně byla přiblížena slévárenská činnost a proces skládání dvoudílných slévárenských forem. Poté se ve zmiňovaném přehledu kladl důraz na manipulační zařízení, které se využívají ve slévárenské praxi. Byl vypracován také přehled výrobců, kteří se zabývají návrhem a výrobou těchto zařízení.

Informací získaných v přehledu současného stavu poznání bylo využito při návrhu konstrukčního řešení vlastního manipulačního zařízení. Nejprve byl zpracován systémový rozbor řešené problematiky, jež slouží jako nástroj pro konstruktéra zařízení, aby si uvědomil, co vše do dané problematiky zapadá a minimalizoval tak možnost opomnění důležitých skutečností. Z přehledu současného stavu poznání v oblasti manipulačních zařízení, vyplivala možnost provedení různých typů konstrukčního uspořádání pro vlastní konstrukci manipulátoru. K výběru nejvhodnější vlastní konstrukce manipulátoru byla využita multikriteriální metoda. K hodnocení zvolených vlastností a určení vah byla využita Saatyho metoda a pomocí bodovací metody byla zvolena výsledná konstrukční varianta manipulátoru.

Konstrukční návrh vlastního manipulátoru byl podložen výpočty pro návrh či kontrolu jednotlivých pohonů. Dále byly provedeny pevnostní výpočty hřídele s ohledem na výslednou statickou a dynamickou bezpečnost. U výsuvného ramena byl pro výpočet průběhu napětí a deformací využit program, který pracuje na základě metody konečných prvků. U ložisek byla spočítána jejich trvanlivost a u komponentů lineárního vedení jejich životnost. Vzhledem k prostředí, kde je manipulátor nasazen, byly voleny vyšší součinitele bezpečnosti při navrhování nebo kontrole jednotlivých konstrukčních uzlů.

V diplomové práci je zdůrazněna nutná bezpečnost při používání strojních zařízení a je brán zřetel na to, že každé strojní zařízení musí splňovat určité bezpečnostní normy, proto aby mohlo být nasazeno v provozu. Proto jsou probírány jednotlivé konstrukční uzly manipulátoru právě s ohledem na bezpečnost a zdraví osob, které s manipulačním zařízením v době jeho životnosti přijdou do kontaktu. Je zde uveden fakt, že provoz takového zařízení může provádět pouze proškolená obsluha.

V práci jsou uvedena také základní doporučení týkající se praxe, která se vztahují k jednotlivým etapám při návrhu, výrobě, montáži, používání nebo likvidaci manipulačního zařízení pro skládání slévárenských forem.

Součástí práce je 3D model manipulátoru, dále pak výkresová dokumentace, která se skládá z výkresu hlavní sestavy manipulátoru, ke které patří seznamy položek. Podsestavy tvoří výkresy svarků levého ramena manipulátoru. Výrobní výkresy jsou zkrusleny pro víko, krytování, pouzdro, vyvažovací madla a hřídel.



## 12 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-2144-828-5.
- [2] MATIČKA, Robert a Jaroslav TALÁCKO. *Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1991. ISBN 80-03-00567-1.
- [3] KREIBICH, Viktor, Milan NĚMEC, Jiří DUNOVSKÝ, Mirko KRÁL, Josef STEIDL, Miroslav KAUFMAN, Emil POLÍVKA a Zdeněk HUŠKA. *Strojírenská technologie IV*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1988.
- [4] CHVÁLA, Břetislav, Robert MATIČKA a Jaroslav TALÁCKO. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-030-0361-X.
- [5] HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH, Rudolf KOPEC a Oldřich MODRÁČEK. *Strojírenská technologie 1: Nauka o materiálu*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1976.
- [6] JANÍČEK, Přemysl a Jiří MAREK. *Expertní inženýrství v systémovém pojetí*. Praha: Grada, 2013. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4127-7.
- [7] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [8] KŘÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka: Svazek 5*. Praha: Scientia, 1994. ISBN 80-858-2759-X.
- [9] KŘÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka: Svazek 6*. Praha: Scientia, 1995. ISBN 80-858-2788-3.
- [10] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [11] BLECHA, Petr. Management technických rizik u výrobních strojů: Technical risk management in production machines : teze habilitační práce. Brno: VUTUM, 2010. ISBN 978-80-214-4062-3.
- [12] ZÁVORKA, Jaroslav. *Slévárenství: Výroba ocelového odlitku odlitím do pískové formy* [online]. In: . [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/13049427-Slevarenstvi-vyroba-oceloveho-odlitku-odlitim-do-piskove-formy.html>
- [13] OLIVKOVÁ, Ivana. *APLIKACE METOD VÍCEKRITERIÁLNÍHO ROZHODOVÁNÍ PŘI HODNOCENÍ KVALITY VEŘEJNÉ DOPRAVY* [online]. 2011, 6.(IV.), 11 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: [http://pernerscontacts.upce.cz/23\\_2011/Olivkova.pdf](http://pernerscontacts.upce.cz/23_2011/Olivkova.pdf)
- [14] *Titan mould manipulators* [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <http://www.fmslimited.co.uk/wp-content/uploads/2017/06/TITAN-MOULD-MANIPULATORS.pdf>
- [15] *Hydraulic Rotary Actuators: HTR Series* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: [https://www.parker.com/literature/Literature%20Files/pneumatic/Literature/Rotary-Actuator/HTR-Series\\_HY03-1800-2.pdf](https://www.parker.com/literature/Literature%20Files/pneumatic/Literature/Rotary-Actuator/HTR-Series_HY03-1800-2.pdf)
- [16] *HMI/HMD Hydraulic Cylinders: Metric tie rod cylinders for working pressures up to 210 bar* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: [https://www.parker.com/Literature/Cylinder%20Europe/Cylinder%20Europe%20-%20English%20Literature/Product%20Literature/HMI\\_1150-9-uk.pdf](https://www.parker.com/Literature/Cylinder%20Europe/Cylinder%20Europe%20-%20English%20Literature/Product%20Literature/HMI_1150-9-uk.pdf)

- [17] *Hydraulic Power Units: Oildyne 550 Series* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.parker.com/Literature/Hydraulic%20Pump%20Division/Oildyne%20Combined%20Sales%20Catalog/HY22-1131US%20Complete%20Catalog%2012-2015.pdf>
- [18] *Pojezdová kočka 211 s nosností 1 000 Kg* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: [https://www.balancery.cz/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=13](https://www.balancery.cz/index.php?controller=attachment&id_attachment=13)
- [19] *Lineární vedení* [online]. 2018 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: [https://www.hiwin.cz/media/files/01\\_linearni\\_vedeni\\_2018.pdf](https://www.hiwin.cz/media/files/01_linearni_vedeni_2018.pdf)
- [20] *Vulcan Engineering Co.* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <http://www.vulcangroup.com/>
- [21] *Tinker Omega* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <http://tinkeromega.com/index.php>
- [22] *Quiptec Inc. Mold Manipulators and Foundry Equipment* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <http://www.quiptec.com/index.html>
- [23] *FMS Limited* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <http://www.fmslimited.co.uk/>
- [24] *Palmer Manufacturing* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <http://www.palmermachinery.com/>
- [25] Otočné zvedací stoly QHZ. In: *Žďas* [online]. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://www.zdas.com/cs/produkce/zarizeni-volne-kovani/>
- [26] A100 telescope master-slave manipulator. In: *Reliable and safe - Wälischmiller Engineering GmbH* [online]. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://www.hwm.com/a100-159.html>
- [27] Ergonomix M. In: *Demmeler Maschinenbau* [online]. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://www.demmeler.com/cs/vyrobky-a-obchod/manipulatory/>
- [28] The SeeGrip manipulation system. In: *Robotics Innovation Center - DFKI GmbH* [online]. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://robotik.dfki-bremen.de/en/research/projects/seegrip.html>
- [29] Třídění odpadu. In: *InODPADY* [online]. [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://www.inodpady.cz/chyba-ve-vyhlase-trva-dukaz-vsechny-projekty-novych-tridicich-linek-na-komunalni-odpady-stale-zastaveny/>
- [30] Waste Management Expedition led by Zen Robotics. In: *Pixelache* [online]. [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://pixelache.ac/events/waste-management-expedition-led-by-zen-robotics>
- [31] Svařovací přípravek. In: *Konstrukční kancelář | Michal Soukup* [online]. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <http://www.soukup-design.cz/pripravky.html>
- [32] Válečkový dopravník na palety poháněný 110. In: *Strand s.r.o. | zakázkové zpracování oceli* [online]. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <http://strand.cz/produkty/valeckovy-dopravnik-na-palety-pohaneny/>
- [33] Bar feeder. In: *Haas Automation - Best in CNC Machine Value* [online]. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://www.haascnc.com/machines/lathes/bar-feeder.html>
- [34] Industrial robots and gantry robots. In: *Güdel Corporate Website* [online]. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://www.gudel.com/products/robots>
- [35] Kloubové jeřáby manipulátory s momentovými rameny 3RM. In: *TRIOM s.r.o* [online]. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: [http://triom.cz/manipulatory/3\\_\\_trojramenny-manipulator-2rm](http://triom.cz/manipulatory/3__trojramenny-manipulator-2rm)

- [36] CNC lathe service. In: *Koops* [online]. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://koops.com/cnc-lathe-machining-department/>
- [37] Special robots series for lathe. In: *Alfa Robot* [online]. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: [https://www.alfarobot.com/en/products\\_i\\_CNC.html](https://www.alfarobot.com/en/products_i_CNC.html)
- [38] Servo polohovací zařízení pro koordinované svařování. In: *FANUC* [online]. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD-elektrick%C3%BDm-obloukem>
- [39] Moderní lakovací roboti v automobilovém průmyslu [online]. In: *Elektrika.cz*. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/lapp-nove-v-nabidce-kabely-pro-roboty>
- [40] Manipulátor pro výměnu nástrojů. In: *VUTS* [online]. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <http://www.vuts.cz/vuts-1.html#!prettyPhoto>
- [41] Telerobots. In: *Shadow Robot Company* [online]. [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://www.shadowrobot.com/telerobots/>
- [42] KR 1000 titan. In: *KUKA AG* [online]. [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-1000-titan>
- [43] Manipulátor pro přepravu papírových rolí. In: *Prestar s.r.o.* [online]. [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <http://prestar.cz/en/obchod/automatizace-stroju-a-zarizeni/manipulator-pro-prepravu-papirovych-rolí/>
- [44] Robot provádí dokončovací práce na odlitcích. In: *Control Engineering Česko* [online]. [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: [http://www.controlengcesko.com/index.php?id=47&no\\_cache=1&tx\\_ttnews%5btt\\_news%5d=7441&cHash=d47ce2e059&type=98](http://www.controlengcesko.com/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews%5btt_news%5d=7441&cHash=d47ce2e059&type=98)
- [45] Automatizace vstřikovacího procesu pomocí kolaborativního robota Universal Robots. In: *PlasticPortal.cz- Portál pro plastikářský a gumárenský průmysl* [online]. [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/mp-line-automatizace-nejen-vstrikovaciho-procesu-pomoci-kolaborativniho-robota-universal-robots/c/4930/>
- [46] Přesný hliníkový odlitek. In: *Eurozet - Slévárna hliníku, zakázková kovovýroba a výroba autodílů* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.eurozet.cz/portfolio-items/ovladaci-ventil/>
- [47] Nejtěžší odlitek z Vítkovic. In: *Časopis KONSTRUKCE* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/historicky-nejtezsi-odlitek-vitkovic-se-vyrabel-i-ve-skafandrech/>
- [48] Odlévání do pískové formy. In: *Slovácké strojírny, a. s.* [online]. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <http://www.sub.cz/mep-postrelmov/slevarna/gravitacni-liti-do-forem.aspx>
- [49] Forma na odlévání kovů. In: *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/unikatni-technologie-3d-tisku-pisku.html>
- [50] Flasks. In: *Smelko Foundry Products Ltd.* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: [http://smelko.com/?page\\_id=586](http://smelko.com/?page_id=586)
- [51] Flasks. In: *Kansas Brass Foundry* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.kansasbrass.com/KBF-Pages/Equip-Flask.php>

- [52] Telescoping rollovers. In: *Vulcan Engineering Co.* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <http://www.vulcangroup.com/product/donovan-telescoping-rollovers/>
- [53] Mold Manipulator. In: *Quiptec Inc. Mold Manipulators and Foundry Equipment* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <http://www.quiptec.com/mold-manipulators.html>
- [54] Foundr manipulator. In: *DirectIndustry - The online industrial exhibition* [online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/estal-machinery-engineering/product-121175-1803316.html>
- [55] PMH-H Gantry Style Mold Handlery. In: *Palmer Manufacturing* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: [http://www.palmermfg.com/mold\\_handlers/PMH\\_gantry\\_style\\_mold\\_handlers.htm](http://www.palmermfg.com/mold_handlers/PMH_gantry_style_mold_handlers.htm)
- [56] PMH Scissor Style Mold Handlers. In: *Palmer Manufacturing* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: [http://www.palmermfg.com/mold\\_handlers/PMH\\_scissor\\_style\\_mold\\_handlers.htm](http://www.palmermfg.com/mold_handlers/PMH_scissor_style_mold_handlers.htm)
- [57] Picture frame rollovers. In: *Vulcan Engineering Co.* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <http://www.vulcangroup.com/product/donovan-picture-frame-rollovers/>
- [58] Mould Manipulator. In: *Omega Sinto Foundry Machinery Ltd* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://www.ofml.net/equipment/mould-handling/mould-manipulators>
- [59] Elektrický lineární aktuátor. In: *LINAK* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <http://www.linak.cz/about/?id3=4867>
- [60] Value Linear System. In: *WITTENSTEIN alpha* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: [https://alpha.wittenstein-us.com/products/linear-systems/system-solutions/value-linear-systems/#\\_ga=2.64272742.891948971.1553193146-1234012652.1553193146](https://alpha.wittenstein-us.com/products/linear-systems/system-solutions/value-linear-systems/#_ga=2.64272742.891948971.1553193146-1234012652.1553193146)
- [61] Přímočarý hydromotor. In: *AG - METAL s.r.o.* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <http://www.ag-metal.sk/hydraulika-a-pneumatika/>
- [62] Mould manipulator. In: *WES Omega* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <http://www.wesomega.com.au/category/mould-manipulators>
- [63] Válce dle norem DSBC. In: *Festo Czech Republic* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cms/cs\\_cz/19647.htm](https://www.festo.com/cms/cs_cz/19647.htm)
- [64] Mold manipulator. In: *BMM* [online]. [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <http://bmmpvtltd.com/automatic-mould-handling-solution/#mouldtransferandclosingmachines>
- [65] WG20 - Helical Bevel Geared Motors. In: *WEG* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: [https://www.weg.net/catalog/weg/US/en/Gearboxes-and-Geared-Motors/WG20/WG20---Geared-Motors/Helical-Bevel-Geared-Motors/WG20---Helical-Bevel-Geared-Motors/p/MKT\\_WATT\\_GLOBAL\\_GEAREDMOTOR\\_WG20\\_HELICALBEVEL](https://www.weg.net/catalog/weg/US/en/Gearboxes-and-Geared-Motors/WG20/WG20---Geared-Motors/Helical-Bevel-Geared-Motors/WG20---Helical-Bevel-Geared-Motors/p/MKT_WATT_GLOBAL_GEAREDMOTOR_WG20_HELICALBEVEL)
- [66] Mold manipulator. In: *AAGM Aalener Gießereimaschinen GmbH, Wöhr Gießereianlagen* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <http://gwoehr.de/en/moulding-plants/>
- [67] Hydraulic rotary actuator. In: *Parker* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <http://ph.parker.com/us/17571/en/hydraulic-rotary-actuator-ltr-series-light-duty>
- [68] Roller Chain. In: *Aire Bearings* [online]. [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <http://www.airebearings.co.uk/Chains-and-sprockets.php>

- [69] Industrial manipulators. In: *Givens Engineering Inc / Industrial Material Handling Solutions* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://www.giveng.com/manipulators>
- [70] Pneumatic rotary actuator. In: *Parker* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <http://ph.parker.com/us/en/pneumatic-rotary-actuator-ptr-series-rack-and-pinion>
- [71] Mold manipulator. In: *Tinker Omega* [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <http://tinkeromega.com/category/mold-manipulators>
- [72] Mold manipulator. In: *Quiptec Inc. Mold Manipulators and Foundry Equipment* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <http://www.quiptec.com/mold-manipulators-battery.html>
- [73] Manipulators. In: *FMS Limited* [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <http://www.fmslimited.co.uk/mould-handling/manipulators/>
- [74] Kuželíková ložiska, Jednořadá: 30305 In: *SKF Group* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/roller-bearings/tapered-roller-bearings/single-row-tapered-roller-bearings/single-row/index.html?designation=30305&unit=metricUnit>
- [75] Vozík HGW. In: *Hiwin* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: [https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/kulickove-vedeni/rada-hg-qh/18\\_vozik-hgw](https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/kulickove-vedeni/rada-hg-qh/18_vozik-hgw)
- [76] Bezpečnostní symboly výstražné: Nebezpečí stlačení. In: *Safetyshop* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.safetyshop.cz/p190-bezpecnostni-symboly-vystrazne-nebezpeci-stlaceni>
- [77] Bezpečnostní symboly výstražné: Nebezpečí úrazu elektrickým proudem. In: *Safetyshop* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.safetyshop.cz/p3052-nebezpeci-urazu-elektrickym-proudem>
- [78] Mold manipulators. In: *Quiptec Inc. Mold Manipulators and Foundry Equipment* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <http://www.quiptec.com/mold-manipulators-models.html>
- [79] Hydraulic Rotary Actuators: HTR Series. *Parker* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://ph.parker.com/us/en/hydraulic-rotary-actuator-htr-series-medium-duty>
- [80] Hydraulic Cylinders: HMI Series. *Parker* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://ph.parker.com/cz/cs/hmi-series-hydraulic-cylinders>
- [81] Compact hydraulic power unit: 550 series. *Parker* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://ph.parker.com/us/en/compact-hydraulic-power-unit-550-series>
- [82] Kuželíková ložiska, Jednořadá: 30307. *SKF Group* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/roller-bearings/tapered-roller-bearings/single-row-tapered-roller-bearings/single-row/index.html?designation=30307&unit=metricUnit>
- [83] Pojistné matice s drážkou: KM 5. *SKF Group* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/bearing-accessories/lock-nuts/requiring-keyway/kml-lock-nuts/index.html?designation=KM%205&unit=metricUnit>
- [84] Pojistné podložky: MB 5. *SKF Group* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/bearing-accessories/lock-nuts/requiring-keyway/mbl-lock-washers/index.html?designation=MB%205&unit=metricUnit>





# 13 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

## 13.1 Seznam použitých symbolů

a	[mm]	Posunutí středu působení sil na ložisku
b	[m]	Vzdálenost mezi ložisky A a B
B	[mm]	Šířka ložiska
b <sub>hi</sub>	[-]	Bodové hodnocení dané vlastnosti
b <sub>p</sub>	[mm]	Šířka drážky pro pero
c	[m]	Vzdálenost mezi ložiskem a upínací částí čepu formovacího rámu
C <sub>0</sub>	[kN]	Základní statická únosnost ložiska
C <sub>01V</sub>	[N]	Požadovaná statická únosnost vozíků lineárního vedení v místě 1
C <sub>02V</sub>	[N]	Požadovaná statická únosnost vozíků lineárního vedení v místě 2
C <sub>0V</sub>	[N]	Statická únosnost zvolených vozíků lineárního
C <sub>r</sub>	[kN]	Základní dynamická únosnost ložiska
C <sub>rA</sub>	[N]	Základní dynamická únosnost ložiska A
C <sub>rB</sub>	[N]	Základní dynamická únosnost ložiska B
C <sub>Vdyn</sub>	[N]	Dynamická únosnost zvolených vozíků lineárního
d	[mm]	Vnitřní průměr ložiska
D	[mm]	Vnější průměr ložiska
d*	[mm]	Průměr hřídele v místě 1, 2 nebo 3
d <sub>1</sub>	[mm]	Průměr hřídele pod ložiskem A
d <sub>3</sub>	[mm]	Průměr hřídele pod ložiskem B
D <sub>HM2</sub>	[mm]	Průměr pístu přímočarého hydromotoru pro šířkovou přestavitelnost ramen
d <sub>HM2</sub>	[mm]	Průměr pístnice přímočarého hydromotoru pro šířkovou přestavitelnost ramen
D <sub>HM3</sub>	[mm]	Průměr pístu přímočarého hydromotoru pro pohyb pojezdové kočky
d <sub>HM3</sub>	[mm]	Průměr pístnice přímočarého hydromotoru pro pohyb pojezdové kočky
d <sub>v</sub>	[mm]	Průměr výstupního konce hřídele
e	[-]	Výpočtový (porovnávací) koeficient ložiska
e <sub>A</sub>	[-]	Výpočtový (porovnávací) koeficient ložiska A

$e_B$	[-]	Výpočtový (porovnávací) koeficient ložiska B
$F_A$	[N]	Axiální zatěžující síla hřídele
$F_{AX}$	[N]	Axiální reakční síla v ložisku A
$F_{AY}$	[N]	Radiální reakční síla v ložisku A
$F_{BX}$	[N]	Axiální reakční síla v ložisku B
$F_{BY}$	[N]	Radiální reakční síla v ložisku B
$F_{HM2}$	[N]	Síla od přímočarého hydromotoru pro šířkovou přestavitelnost ramen
$F_{HM3}$	[N]	Síla od přímočarého hydromotoru pro pohyb pojezdové kočky
$F_K$	[N]	Síla potřebná k pohybu jednoho kola pojezdové kočky
$F_{op}$	[N]	Obvodová síla působící na těsné pero
$F_R$	[N]	Radiální zatěžující síla hřídele
$f_{SL}$	[-]	Statická konstrukční bezpečnost
$F_{V1}$	[N]	Zatížení vozíků lineárního vedení v místě 1
$v_2$	[N]	Zatížení vozíků lineárního vedení v místě 2
$g$	[m·s <sup>-2</sup> ]	Tíhové zrychlení
$G_i$	[-]	Geometrický průměr
$J_C$	[kg·m <sup>2</sup> ]	Celkový moment setrvačnosti
$J_{FR}$	[kg·m <sup>2</sup> ]	Moment setrvačnosti formovacího rámu naplněného pískem
$J_{H1}$	[kg·m <sup>2</sup> ]	Moment setrvačnosti první hřídele
$J_{H2}$	[kg·m <sup>2</sup> ]	Moment setrvačnosti druhé hřídele
$k'_{\tau 1}$	[-]	Bezpečnost vůči plastickým deformacím v místě 1
$k'_{\tau v}$	[-]	Bezpečnost vůči plastickým deformacím v místě drážky pro pero
$k'_{\tau*}$	[-]	Bezpečnost vůči plastickým deformacím v místě 1, 2 nebo 3
$k_{dyn*}$	[-]	Výsledná dynamická bezpečnost v místě 1, 2 nebo 3
$k_{dyn1}$	[-]	Výsledná dynamická bezpečnost v místě 1
$k_{dyn1,dov}$	[-]	Dovolená výsledná dynamická bezpečnost
$k_{s*}$	[-]	Bezpečnost proti trvalým deformacím v místě 1, 2 nebo 3
$k_{s1}$	[-]	Bezpečnost proti trvalým deformacím v místě 1
$k_{\sigma*}$	[-]	Dynamická bezpečnost v ohybu v místě 1, 2 nebo 3
$k_{\sigma 1}$	[-]	Dynamická bezpečnost v ohybu v místě 1
$k_{\tau*}$	[-]	Dynamická bezpečnost v krutu v místě 1, 2 nebo 3
$k_{\tau 1}$	[-]	Dynamická bezpečnost v krutu v místě 1

$k_{tv}$	[-]	Dynamická bezpečnost v krutu v místě drážky pro pero
$l_1$	[m]	Vzdálenost na hřídeli
$l_{10}$	[m]	Délkový rozměr na pohyblivém ramenu
$L_{10hA}$	[hod]	Základní trvanlivost ložiska A
$L_{10hB}$	[hod]	Základní trvanlivost ložiska B
$l_2$	[m]	Vzdálenost na hřídeli
$l_5$	[m]	Vzdálenost na hřídeli
$l_7$	[m]	Délkový rozměr na pohyblivém ramenu
$l_8$	[m]	Délkový rozměr na pohyblivém ramenu
$l_9$	[m]	Délkový rozměr na pohyblivém ramenu
$L_h$	[hod]	Životnost vozíku lineárního vedení
$l_p$	[mm]	Minimální délka pera
$m_{FR}$	[kg]	Hmotnost formovacího rámu naplněného slévárenským pískem
$M_k$	[Nm]	Krouticí moment hydromotoru
$m_m$	[kg]	Celková hmotnost manipulačního zařízení
$M_{o*}$	[Nm]	Ohybový moment v místě 1, 2 nebo 3
$M_{o1}$	[Nm]	Ohybový moment v místě 1
$M_{o2}$	[Nm]	Ohybový moment v místě 2
$M_{o3}$	[Nm]	Ohybový moment v místě 3
$M_{omax}$	[Nm]	Maximální ohybový moment
$n$	[-]	Počet posuzovaných vlastností
$n_h$	[min <sup>-1</sup> ]	Otáčky hřídele
$n_o$	[min <sup>-1</sup> ]	Rychlost otáčení formovacího rámu
$P$	[N]	Nejvyšší možné zatížení vozíku lineárního vedení
$P_D$	[MPa]	Dovolený tlak na boky drážek náboje kyvného hydromotoru
$P_o$	[MPa]	Základní hodnota tlaku pro materiál náboje kyvného hydromotoru
$P_{rA}$	[N]	Dynamické ekvivalentní zatížení ložiska A
$P_{rB}$	[N]	Dynamické ekvivalentní zatížení ložiska B
$p_{vHM2}$	[MPa]	Potřebný pracovní tlak pro vysunutí pístnice přímočarého hydromotoru pro šířkovou přestavitelnost ramen
$p_{vHM3}$	[MPa]	Potřebný pracovní tlak pro vysunutí pístnice přímočarého hydromotoru pro pohyb pojezdové kočky
$p_{zHM2}$	[MPa]	Potřebný pracovní tlak pro zasunutí pístnice přímočarého hydromotoru pro šířkovou přestavitelnost ramen

$p_{zHM3}$	[MPa]	Potřebný pracovní tlak pro zasunutí pístnice přímočarého hydromotoru pro pohyb pojezdové kočky
$Q_{HG1}$	[l·min <sup>-1</sup> ]	Potřebný průtok pro hydrogenerátor
$Q_{vHG2}$	[l·min <sup>-1</sup> ]	Potřebný průtok pro hydrogenerátor pro úplné vysunutí pístnice přímočarého hydromotoru pro šířkovou přestavitelnost ramen
$Q_{vHG3}$	[l·min <sup>-1</sup> ]	Potřebný průtok pro hydrogenerátor pro úplné vysunutí pístnice přímočarého hydromotoru pro pohyb pojezdové kočky
$Q_{zHG2}$	[l·min <sup>-1</sup> ]	Potřebný průtok pro hydrogenerátor pro úplné zasunutí pístnice přímočarého hydromotoru pro šířkovou přestavitelnost ramen
$Q_{zHG3}$	[l·min <sup>-1</sup> ]	Potřebný průtok pro hydrogenerátor pro úplné zasunutí pístnice přímočarého hydromotoru pro pohyb pojezdové kočky
$R_e$	[MPa]	Mez kluzu v tahu pro materiál hřídele
$R_{es}$	[MPa]	Mez kluzu ve smyku pro materiál hřídele
$s_{11}$	[-]	Hodnota v prvním řádku a v prvním sloupci matice
$s_{12}$	[-]	Hodnota v prvním řádku a v druhém sloupci matice
$S_{DHM2}$	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha pístu přímočarého hydromotoru pro šířkovou přestavitelnost ramen
$S_{dHM2}$	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha pístnice přímočarého hydromotoru pro šířkovou přestavitelnost ramen
$S_{DHM3}$	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha pístu přímočarého hydromotoru pro pohyb pojezdové kočky
$S_{dHM3}$	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha pístnice přímočarého hydromotoru pro pohyb pojezdové kočky
$S_{ii}$	[-]	Rozlišení řádků a sloupců v matici
$S_{ij}$	[-]	Rozlišení řádků a sloupců v matici
$S_{ji}$	[-]	Rozlišení řádků a sloupců v matici
$s_{nn}$	[-]	Hodnota v n-tém řádku a v n-tém sloupci matice
$t_{lp}$	[mm]	Hloubka drážky pro pero v náboji kyvného hydromotoru
$t_{HM1}$	[s]	Čas potřebný k jedné otáčce kyvného hydromotoru
$t_{HM2}$	[s]	Čas potřebný k úplnému zasunutí či vysunutí pístnice přímočarého hydromotoru pro šířkovou přestavitelnost ramen
$t_{HM3}$	[s]	Čas potřebný k úplnému zasunutí či vysunutí pístnice přímočarého hydromotoru pro pohyb pojezdové kočky
$t_p$	[mm]	Hloubka drážky pro pero v hřídeli
$t_r$	[s]	Čas potřebný pro rozběh hydromotoru na požadované otáčky
$v$	[m·min <sup>-1</sup> ]	Rychlost vysunování či zasunování pohyblivého ramena
$v_{hi}$	[-]	Výsledná hodnocení konstrukčního řešení
$V_{HM1}$	[l]	Objem kapaliny potřebný na jednu otáčku kyvného hydromotoru

$v_{HM2}$	$[m \cdot min^{-1}]$	Rychlost vysunování či zasunování pístnice přímočarého hydromotoru pro šířkovou přestavitelnost ramen
$v_i$	$[-]$	Normovaná váha
$V_{vHM2}$	$[l]$	Objem kapaliny pro úplné vysunutí pístnice pro šířkovou přestavitelnost ramen
$V_{vHM3}$	$[l]$	Objem kapaliny pro úplné vysunutí pístnice hydromotoru pro pohyb pojezdové kočky
$V_{zHM2}$	$[l]$	Objem kapaliny pro úplné zasunutí pístnice hydromotoru pro šířkovou přestavitelnost ramen
$V_{zHM3}$	$[l]$	Objem kapaliny pro úplné zasunutí pístnice hydromotoru pro pohyb pojezdové kočky
$W_{k*}$	$[mm^3]$	Modul krutu v ohybu v místě 1, 2 nebo 3
$W_{k1}$	$[mm^3]$	Modul krutu v ohybu v místě 1
$W_{kv}$	$[mm^3]$	Modul průřezu v krutu v místě drážky pro pero
$W_{o*}$	$[mm^3]$	Modul průřezu v ohybu v místě 1, 2 nebo 3
$W_{o1}$	$[mm^3]$	Modul průřezu v ohybu v místě 1
$X$	$[-]$	Koeficient radiálního dynamického zatížení ložiska
$X_A$	$[-]$	Koeficient radiálního dynamického zatížení ložiska A
$X_B$	$[-]$	Koeficient radiálního dynamického zatížení ložiska B
$Y$	$[-]$	Koeficient axiálního dynamického zatížení ložiska
$Y_A$	$[-]$	Koeficient axiálního dynamického zatížení pro ložisko A
$Y_B$	$[-]$	Koeficient axiálního dynamického zatížení pro ložisko B
$z_{HM2}$	$[mm]$	Zdvih přímočarého hydromotoru pro šířkovou přestavitelnost ramen
$z_{HM3}$	$[mm]$	Zdvih přímočarého hydromotoru pro pohyb pojezdové kočky
$\alpha$	$[^\circ]$	Maximální úhel naklonění manipulačního zařízení
$\alpha_0$	$[-]$	Opravný součinitel
$\beta_{\sigma 1}$	$[-]$	Vrubový součinitel pro vrub v místě 1
$\beta_{\tau 1}$	$[-]$	Vrubový součinitel pro vrub v místě 1
$\beta_{\tau v}$	$[-]$	Vrubový součinitel pro vrub v místě drážky pro pero
$\varepsilon$	$[rad \cdot s^{-2}]$	Úhlové zrychlení při otáčení formovacího rámu
$\varepsilon_{p1}$	$[-]$	Součinitel jakosti povrchu v místě 1
$\varepsilon_{pv}$	$[-]$	Součinitel jakosti povrchu v místě drážky pro pero
$v_{\sigma 1}$	$[-]$	Součinitel velikosti v místě 1
$v_{\tau 1}$	$[-]$	Součinitel velikosti v místě 1
$v_{\tau v}$	$[-]$	Součinitel velikosti v místě drážky pro pero

$\pi$	[-]	Ludolfovo číslo
$\sigma_a^*$	[MPa]	Amplituda normálového napětí v místě 1, 2 nebo 3
$\sigma_{a1}$	[MPa]	Amplituda normálového napětí v místě 1
$\sigma_{co}$	[MPa]	Mez únavy v ohybu pro materiál hřídele
$\sigma_m^*$	[MPa]	Střední hodnota normálového napětí v místě 1, 2 nebo 3
$\sigma_{m1}$	[MPa]	Střední hodnota normálového napětí v místě 1
$\sigma_o^*$	[MPa]	Napětí v ohybu v místě 1, 2 nebo 3
$\sigma_{o1}$	[MPa]	Napětí v ohybu v místě 1
$\sigma_{red}^*$	[MPa]	Redukované napětí v místě 1, 2 nebo 3
$\sigma_{red1}$	[MPa]	Redukované napětí v místě 1
$\tau_a^*$	[MPa]	Amplituda smykového napětí v místě 1, 2 nebo 3
$\tau_{a1}$	[MPa]	Amplituda smykového napětí v místě 1
$\tau_{av}$	[MPa]	Amplituda smykového napětí v místě drážky pro pero
$\tau_{ck}$	[MPa]	Mez únavy v krutu pro materiál hřídele
$\tau_k^*$	[MPa]	Napětí v krutu v místě 1, 2 nebo 3
$\tau_{k1}$	[MPa]	Napětí v krutu v místě 1
$\tau_{kv}$	[MPa]	Napětí v krutu v místě drážky pro pero
$\tau_m^*$	[MPa]	Střední hodnota smykového napětí v místě 1, 2 nebo 3
$\tau_{m1}$	[MPa]	Střední hodnota smykového napětí v místě 1
$\tau_{mv}$	[MPa]	Střední hodnota smykového napětí v místě drážky pro pero
$\psi_{\sigma 1}$	[-]	Součinitel citlivosti materiálu a nesouměrnost cyklu v místě 1
$\psi_{\tau 1}$	[-]	Součinitel citlivosti materiálu a nesouměrnost cyklu v místě 1
$\psi_{\tau v}$	[-]	Součinitel citlivosti materiálu a nesouměrnost cyklu v místě drážky pro pero
$\omega$	[rad·s <sup>-1</sup> ]	Úhlová rychlost při otáčení formovacího rámu

## 13.2 Seznam tabulek

Tab 1)	Manipulátory Vulcan Engineering - Šířkově stavitelný rám - Hydraulický pohon [52] .....	49
Tab 2)	Manipulátory Vulcan Engineering - Pevná šířka rámu - Hydraulický pohon [57] .....	50
Tab 3)	Manipulátory Tinker Omega - Rám s kyvnými rameny - Elektrický pohon [71] .....	50
Tab 4)	Manipulátory Tinker Omega - Rám s kyvnými rameny - Hydraulický pohon [71] .....	51
Tab 5)	Manipulátory Tinker Omega - Rám s posuvnými rameny - Hydraulický pohon [71] .....	51
Tab 6)	Manipulátory Quiptec - Rám s kyvnými rameny - Elektrický pohon - Manuální otáčení [78] .....	52
Tab 7)	Manipulátory Quiptec - Rám s kyvnými rameny - Elektrický pohon [78] .....	52
Tab 8)	Manipulátory FMS - Rám s kyvnými rameny - Elektrický pohon [14] .....	53
Tab 9)	Manipulátory FMS - Rám s kyvnými rameny - Hydraulický pohon [14] .....	53
Tab 10)	Manipulátory FMS - Rám s kyvnými rameny - Pneumatický pohon [14] .....	53
Tab 11)	Manipulátory Palmer Manufacturing - Rám s kyvnými rameny [56] .....	54
Tab 12)	Manipulátory Palmer Manufacturing - Rám s posuvnými rameny [55] .....	54
Tab 13)	Posuzované vlastnosti .....	59
Tab 14)	Deskriptory pro Saatyho metodu [13] .....	60
Tab 15)	Stanovení vah posuzovaných vlastností .....	62
Tab 16)	Volba jednotlivých konstrukčních částí .....	63
Tab 17)	Deskriptory pro bodovací metodu [13] .....	63
Tab 18)	Bodovací metoda - Šířková stavitelnost rámu .....	64
Tab 19)	Bodovací metoda - Provedení konstrukce rámu .....	65
Tab 20)	Bodovací metoda - Typ pohonu pro otevírání a uzavírání čelistí manipulátoru - Část 1 .....	65
Tab 21)	Bodovací metoda - Typ pohonu pro otevírání a uzavírání čelistí manipulátoru - Část 2 .....	66
Tab 22)	Parametry hydromotoru HTR .9 - 3603C - CA61 - A [15] .....	70
Tab 23)	Parametry hydromotoru 25 C P HMI M N 2 1 M 425.00 M 1 1 0 0 [16] .....	70
Tab 24)	Parametry hydromotoru 32 DD HMI M N 2 1 M 365.00 M 1 1 0 0 [16] .....	73
Tab 25)	Pracovní tlaky a průtoky jednotlivých hydromotorů .....	77
Tab 26)	Parametry hydraulického agregátu 550 TC 04 15 - SW - NNN - HP - 10 [17] .....	77
Tab 27)	Parametry ložisek 30305 a 30307 od společnosti SKF [74], [82] .....	80
Tab 28)	Výsledné hodnoty plynoucí z kontroly hřídele .....	89

Tab 29)	Výsledné hodnoty zatížení jednotlivých vozíků lineárního vedení.....	96
Tab 30)	Výsledné hodnoty zatížení jednotlivých vozíků lineárního vedení.....	101

### 13.3 Seznam obrázků

Obr. 1)	a) Manipulátor pro těžká břemena [25], b) Manipulátory v nebezpečném prostředí [26] .....	21
Obr. 2)	a) Manipulátor pro otáčení svařenců [27], b) Manipulátor do nedostupného prostředí [28] .....	22
Obr. 3)	Diagram vymezující použitelnost různých typů manipulačních zařízení [1].....	22
Obr. 4)	a) Třídění odpadu manuálně [29], b) Třídění odpadu za pomoci manipulátoru [30] .....	22
Obr. 5)	a) Svařovací přípravek [31], b) Dopravník palet [32] .....	23
Obr. 6)	a) Podavač tyčí [33], b) Detail podavače tyčí [33] .....	23
Obr. 7)	Využití průmyslových robotů a možnosti jejich přestavení [34] .....	24
Obr. 8)	Schéma pohyblivosti lidské ruky [1].....	25
Obr. 9)	Schématické porovnání člověka a stroje ve výrobním procesu [1].....	25
Obr. 10)	Možnosti výměny jednotlivých částí manipulátoru [35].....	26
Obr. 11)	a) Obsluha CNC stroje člověkem [36], b) Obsluha CNC stroje manipulátorem [37] .....	26
Obr. 12)	a) Svařovací robot [38], b) Lakovací robot [39] .....	27
Obr. 13)	Rozdělení manipulačních zařízení a průmyslových robotů [2].....	27
Obr. 14)	a) Manipulátor pro výměnu nástrojů [40], b) Manipulátor umístěný na stroji [40] .....	28
Obr. 15)	Blokové schéma pro synchronní manipulátory [2] .....	29
Obr. 16)	Blokové schéma pro manipulátory s pevným programem [2] .....	29
Obr. 17)	Blokové schéma pro manipulátory s proměnlivým programem [2] .....	29
Obr. 18)	Blokové schéma pro kognitivní roboty [2] .....	29
Obr. 19)	a) Synchronní robot [41], b) Manipulátor s proměnlivým programem [42] ...	30
Obr. 20)	Manipulátor pro přepravu papíru [43].....	30
Obr. 21)	Manipulátor pro manipulaci s břemeny [35].....	31
Obr. 22)	a) Robot opracovává odlitek broušením [44], b) Detail procesu broušení pomocí robotu [44] .....	31
Obr. 23)	Automatizace vstřikovacího procesu pomocí robotu [45] .....	32
Obr. 24)	a) Hliníkový odlitek malé velikosti a komplikovaného tvaru [46], b) Historicky nejtěžší odlitek z Vítkovic (371 tun) [47].....	32
Obr. 25)	a) Netrvalá forma ve formovacím rámu [48], b) Písková forma, která vznikla pomocí 3D tisku [49].....	33



Obr. 26) a) Kovový formovací rám [50], b) Dřevěný formovací rám [51] .....	34
Obr. 27) Formovací rám (upraveno) [12] .....	34
Obr. 28) Postup formování do dvou rámů [5].....	35
Obr. 29) Manipulační zařízení zavěšené na háku jeřábu [52].....	36
Obr. 30) Pracovník při práci s manipulátorem [52] .....	36
Obr. 31) Hlavní pohyby a funkce manipulačního zařízení pro skládání slévárenských forem [53].....	37
Obr. 32) Hlavní části manipulačního zařízení pro skládání slévárenských forem [54], [52] .....	37
Obr. 33) Rozdělení manipulačních zařízení pro skládání dvoudílných slévárenských forem .....	38
Obr. 34) Manipulátory se šířkově stavitelným rámem: a) Provedení s posuvnými rameny [55], b) Provedení s kyvnými rameny [56].....	39
Obr. 35) Manipulátor s pevnou šířkou rámu [57] .....	39
Obr. 36) Manipulátor s rámem s kyvnými rameny [58] .....	40
Obr. 37) Manipulátor s rámem s posuvnými rameny [52].....	41
Obr. 38) Elektrický lineární aktuátor [59].....	41
Obr. 39) a) Pastorek a hřeben [60], b) Detailní pohled na pastorek a hřeben v konstrukci manipulatoru [55].....	42
Obr. 40) a) Přímočarý hydromotor [61], b) Manipulátor využívající pohonu pomocí přímočarého hydromotoru [62] .....	42
Obr. 41) a) Přímočarý pneumatický motor [63], b) Manipulátor využívající pohonu pomocí přímočarého pneumatického motoru [62].....	43
Obr. 42) Manipulátor využívající manuálního pohonu [64] .....	44
Obr. 43) a) Elektromotor s integrovanou převodovou skříní [65], b) Manipulátor využívající pohonu pomocí elektromotoru s integrovanou převodovou skříní [66] .....	44
Obr. 44) Kyvný hydromotor [67].....	45
Obr. 45) a) Řetězový převod [68], b) Detail manipulatoru využívajícího pohonu pomocí rotačního hydromotoru a řetězového převodu [55].....	45
Obr. 46) Manipulátor využívající pohonu pomocí kyvného hydromotoru [52] .....	45
Obr. 47) Manipulátor využívající pohonu pomocí přímočarého pneumatického motoru [69] .....	46
Obr. 48) Kyvný pneumatický motor [70] .....	46
Obr. 49) a) Detail na upínací část [55], b) Formovací rám upnutý pomocí čepů [55] .....	47
Obr. 50) a) Detail na upínací čelist [53], b) Forma upnutá pomocí čelistí [53].....	47
Obr. 51) a) Manipulátor vybavený upínacím rámem [57], b) Forma upnutá pomocí upínacího rámu [57] .....	48

Obr. 52) Základní parametry manipulátorů (upraveno) [14] .....	48
Obr. 53) Manipulátory společnosti Vulcan Engineering: a) Manipulátor s šířkově přestavitelným rámem [52], b) Manipulátor s pevnou šířkou rámu [57] .....	49
Obr. 54) Manipulátory společnosti Tinker Omega: a) Manipulátor s rámem s kyvnými rameny [71], b) Manipulátor s rámem s posuvnými rameny [71] .....	50
Obr. 55) Manipulátor s rámem s kyvnými rameny, pohony napájeny z baterie [72] ....	51
Obr. 56) Manipulátory společnosti Foundry & Spares Limited: a) Manipulátory s rámem s kyvnými rameny [73], b) Manipulátory s rámem s kyvnými rameny (větší verze) [73] .....	52
Obr. 57) Manipulátory společnosti Palmer Manufacturing & Supply a) Manipulátory s rámem s kyvnými rameny [56], b) Manipulátor s rámem s posuvnými rameny [55] .....	54
Obr. 58) Váhy posuzovaných vlastností .....	62
Obr. 59) Formovací rám se zakótovanými rozměry .....	67
Obr. 60) Výstupek na čepu formovacího rámu a drážka v upínací části hřídele .....	68
Obr. 61) Osy, ke kterým byly zjišťovány momenty setrvačnosti .....	69
Obr. 62) Pohyb pojezdové kočky pro vyvažování manipulačního zařízení .....	73
Obr. 63) Naklonění manipulačního zařízení .....	74
Obr. 64) Hydraulické schéma .....	78
Obr. 65) a) Uložení první hřídele, b) Uložení druhé hřídele .....	80
Obr. 66) Rozměrové parametry ložiska [74] .....	81
Obr. 67) Průběh výsledných vnitřních účinků na hřídeli .....	81
Obr. 68) Myšlené řezy hřídele .....	84
Obr. 69) Průběh ohybového momentu v kritických místech hřídele .....	85
Obr. 70) a) Doporučené uložení od výrobce HIWIN [19], b) Uložení v konstrukci vlastního manipulačního zařízení .....	92
Obr. 71) a) Rozměry při vysunutém ramenu, b) Rozměry při zasunutém ramenu .....	92
Obr. 72) Zatížení formovacím rámem o hmotnosti 400 kg při maximálním vysunutí ramene .....	93
Obr. 73) Zatížení formovacím rámem o hmotnosti 400 kg při minimálním vysunutí ramene .....	93
Obr. 74) Zatížení formovacím rámem o hmotnosti 20 kg při maximálním vysunutí ramene .....	94
Obr. 75) Zatížení formovacím rámem o hmotnosti 20 kg při minimálním vysunutí ramene .....	94
Obr. 76) Přírubová verze vozíku HIWIN [75] .....	96
Obr. 77) Složení těsnění typu KK [19] .....	97

Obr. 78)	Princip mazání lineárního vedení [19].....	97
Obr. 79)	Rameno ve studentské verzi programu Ansys Workbench - Vazby a silové zatížení .....	99
Obr. 80)	Rameno ve studentské verzi programu Ansys Workbench - Silové zatížení .....	99
Obr. 81)	Místo nejvyšší hodnoty napětí .....	100
Obr. 82)	Napětí v kritickém místě, případ zatížení a) .....	100
Obr. 83)	Deformace ramena, případ zatížení a) .....	101
Obr. 84)	a) Výsledná hodnota v místě umístění prvního vozíku lineárního vedení, b) Výsledná hodnota v místě umístění druhého vozíku lineárního vedení .....	102
Obr. 85)	Postupový diagram iterační metody „Tři kroků“ dle ČSN ISO 12100-1 [11] .....	103
Obr. 86)	a) Uchopovací body na levé straně zařízení, b) Uchopovací body na pravé straně zařízení .....	104
Obr. 87)	a) Zařízení před krytováním, b) Zařízení po zakrytování .....	104
Obr. 88)	Ovládací tlačítkový panel manipulačního zařízení .....	105
Obr. 89)	Pohyb ramena manipulátoru .....	105
Obr. 90)	Funkce pojistky proti vysunutí .....	106
Obr. 91)	a) Štítek označující nebezpečí stlačení [76], b) Štítek označující nebezpečí úrazu elektrickým proudem [77] .....	106
Obr. 92)	a) 3D model manipulátoru s upnutou formou - Pohled 1, b) 3D model manipulátoru s upnutou formou - Pohled 2 .....	107
Obr. 93)	a) 3D model manipulátoru s maximální vysunutí ramena - Pohled 1, b) 3D model manipulátoru s maximálním vysunutí ramena - Pohled 2 .....	107
Obr. 94)	a) 3D model manipulátoru s minimálním vysunutí ramena - Pohled 1, b) 3D model manipulátoru s minimálním vysunutí ramena - Pohled 2 .....	108
Obr. 95)	a) Ukázka zarovnání kolejnice lineárního vedení [19], b) Utažení šroubů kolejnice lineárního vedení momentovým klíčem [19] .....	110



## 14 SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy v elektronické podobě:

3D model manipulátoru:

- formát STEP

Výběr vhodné konstrukční varianty:

- Priloha\_1 - Vicekriterialni\_Analyza

Konstrukční výpočty provedené v programech:

- Provedené v programu SMath Studio:
  - Priloha\_2 - Vypocet\_Hridel (formát .sm a PDF)
  - Priloha\_3 - Vypocet\_Linearni\_Vedeni (formát .sm a PDF)
- Provedené ve studenstké verzi programu Ansys Workbench:
  - Priloha\_4 - Kontrola\_Vysuvne\_Rameno (formát PDF)

Výkresová dokumentace:

- formát PDF

Přílohy na přiloženém CD:

Hlavní dokument

- formát PDF

3D model manipulátoru

- formát STEP

Výběr vhodné konstrukční varianty:

- Priloha\_1 - Vicekriterialni\_Analyza

Konstrukční výpočty provedené v programech:

- Provedené v programu SMath Studio:
  - Priloha\_2 - Vypocet\_Hridel (formát .sm a PDF)
  - Priloha\_3 - Vypocet\_Linearni\_Vedeni (formát .sm a PDF)
- Provedené ve studenstké verzi programu Ansys Workbench:
  - Priloha\_4 - Kontrola\_Vysuvne\_Rameno (formát PDF)

Výkresová dokumentace

- formát PDF

Přílohy přiložené v papírové podobě:

VÝKRES SESTAVENÍ	MANIPULÁTOR	1-DP-00
SEZNAM POLOŽEK	MANIPULÁTOR	1-DP-00
SEZNAM POLOŽEK	MANIPULÁTOR	1-DP-00
SEZNAM POLOŽEK	MANIPULÁTOR	1-DP-00
SVARENEC	RAMENO LEVÉ	3-DP-01

VÝKRES SVARKU	RAMENO LEVÉ 1	5-DP-01
VÝKRES SVARKU	RAMENO LEVÉ 2	5-DP-02
VÝKRES SOUČÁSTI	VÍKO 2	7-DP-03
VÝKRES SOUČÁSTI	KRYTOVÁNÍ	7-DP-04
VÝKRES SOUČÁSTI	POUZDRO 1	7-DP-07
VÝKRES SOUČÁSTI	VYVAŽOVACÍ MADLA	7-DP-11
VÝKRES SOUČÁSTI	HNACÍ HŘÍDEL	7-DP-16